



## 저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

도시계획학박사학위논문

**GPS 차량 통행 자료를 이용한  
미관측 도로구간의 AADT 추정**

2016년 2월

서울대학교 환경대학원  
환경계획학과 교통학전공  
정 인 택

# GPS 차량 통행 자료를 이용한 미관측 도로구간의 AADT 추정

지도교수 이 영 인

이 논문을 도시계획학 박사학위논문으로 제출함

2015년 10월

서울대학교 환경대학원

환경계획학과 교통학전공

정 인 택

정인택의 박사학위논문을 인준함

2016년 1월

위 원 장 \_\_\_\_\_ (인)

부 위 원 장 \_\_\_\_\_ (인)

위 원 \_\_\_\_\_ (인)

위 원 \_\_\_\_\_ (인)

위 원 \_\_\_\_\_ (인)

## 국문초록

최근 IT기술의 발전으로 인하여 루프검지기, 영상검지기 등과 같이 고정된 조사지점에서 교통정보를 수집하는 기존의 단순관측 및 고정센서 조사 수집체계에서 스마트폰, 내비게이션 등과 같이 도로상에서 개인 또는 개별 차량의 GPS 이동궤적을 수집할 수 있는 이동센서 조사 수집체계로 변화하고 있다. 이로 인해 가용할 수 있는 데이터의 양과 질, 그리고 시·공간적 범위가 전국으로 확대되면서 그야말로 대용량 자료의 시대로 진입하게 되었다. 차량용 내비게이션은 운행 중인 거의 모든 차량에 설치되어 있는 필수장비로서 현재 내비게이션 데이터를 수집 및 저장하기 위한 기술적인 안정성도 충분히 확보되어 있는 상태이다. 또한 정부 3.0의 10대 추진과제 중 하나인 빅데이터의 활용이라는 측면에서 차량용 내비게이션에서 수집되고 있는 GPS 차량 통행 자료에 대한 적극적인 활용이 필요한 시점이다.

위의 자료가 도로구간별로 통행하는 전체 차량의 표본인 점을 고려해볼 때, 미관측 도로구간의 연평균 일교통량(Annual average daily traffic, 이하 AADT) 추정과 관련된 연구의 입력 자료로서 활용이 가능할 것으로 판단되었다. 이와 관련된 선행연구들을 고찰해 본 결과, 기존 AADT 추정모형의 입력 자료들은 과거 데이터 수집 및 저장 기술의 한계로 인하여 특정 지역 또는 구간에서의 교통량 자료와 거시적 단위의 사회·경제적 지표(인구수, 자동차 등록대수, 근로자수 등)에 의존해왔으며, 일부 미시적 단위의 자료로는 GIS에서 일반적으로 제공하고 있는 링크정보(차로수, 연장, 제한속도 등)와 실제 관측 값이 아닌 TransCAD 등과 같은 교통수요모형에 의해서 산출된 추정 값들(통행배정량, 최단경로거리 등)만이 제한적으로 활용되고 있었다. 이러한 입력 자료의 환경이다 보니 기존 모형들은 특정 통계모형의 파라미터에 의존하는 모수 모형만을 적용할 수밖에 없는 실정이었다. 또한 향후 시스템의 내부모듈로서 모형을 탑재할 경우, 기존 모형들은 입력 자료의 구축문제, 파라미터의 최적화 문제 등과 같은 모형의 구조적인 문제도 발생하게 된다.

따라서 본 연구에서는 미관측 도로구간의 AADT 추정에 대한 불확실성을 극복하기 위하여 대용량 GPS 차량 통행 자료 기반의 비모수 모형을 적용한 AADT 추정모형, 즉 KL모형을 개발하였다. KL모형은 비모수 모형인  $k$ 개의 최근린 이웃( $k$ -nearest neighbors)기법과 모수 모형인 국부 가중선형회귀(Locally weighted linear regression)모형이 결합된 추정모형으로 추정모형 식의 형태와 적용 가중치의 종류에 따라 총 6가지 형태의 모형으로 개발하였다. 개발모형의 입력 자료는 기존 모형들과는 달리 본 연구의 GPS 차량 통행 자료를 이용하여 개별 도로구간 단위로 집계한 연평균 일프로브통행량(Annual average daily probe)을 예측변수로 적용하고, 3가지의 KNN 추출방법(연결성지수, 최단경로거리 유클리디언 거리)에 따라 추출한 값을 개발모형의 가중치로 적용하였다. 여기서, AADT 추정에 대한 불확실성 극복 방안은 하나의 전역적인 추정모형 또는 특정 통계모형에서 산출되는 가중치 값으로 개별 미관측 도로구간의 AADT를 추정하는 것이 아니라, 비모수 모형인 KNN 기법을 이용하여 해당 도로구간별로 공간적인 패턴을 탐색하고 이에 따라 최종의사결정 군집을 구축하여 AADT를 추정하는 국부적인 추정모형의 형태로 개발함으로써 이러한 불확실성을 감소시켰다. 또한 향후 본 개발모형은 시스템 탑재가 목표이므로 모형의 일반화, 입·출력 자료구조 변경의 용이성, 파라미터의 자동정산, 연산 수행속도 등을 고려하여 개발하였다.

본 연구에서 개발한 KL모형의 성능은 전국 지역간 도로(고속도로, 일반국도)를 대상으로 네트워크 단위의 사례분석 구간을 선정하고 정확도와 신뢰도 평가지표를 이용하여 평가하였다. 그 결과, 본 연구에서 개발한 모형들이 기존의 비교모형들에 비하여 전체적으로 우수한 결과를 나타냈다.

**주요어 :** 빅데이터, 미관측 도로구간, 연평균 일교통량, 연평균 일프로브통행량, 비모수 모형,  $k$ 개의 최근린 이웃, 국부 가중선형회귀

**학 번 :** 2011-30732

# 목 차

제1장 서론 .....	1
제1절 연구의 배경 및 목적 .....	1
제2절 연구의 범위 및 방법 .....	3
제3절 연구의 수행체계 .....	5
제2장 선행연구 고찰 .....	7
제1절 선행연구의 선정 및 체계 .....	7
제2절 선행연구의 고찰 .....	9
1. 상시조사 교통량의 결측값 보정 .....	11
2. 수시조사 교통량을 이용한 AADT 추정 .....	13
3. 미관측 도로구간의 AADT 추정 .....	17
제3절 선행연구의 한계 및 문제점 .....	25
1. 상시조사 교통량의 결측값 보정 .....	25
2. 수시조사 교통량을 이용한 AADT 추정 .....	26
3. 미관측 도로구간의 AADT 추정 .....	27
4. 한계 및 문제점 종합 .....	31
제4절 본 연구의 차별성 및 기여 .....	34
1. 본 연구의 차별성 .....	34
2. 본 연구의 기여 .....	36
제3장 GPS 차량 통행 자료 기반 AADT 추정모형 개발 .....	37
제1절 모형의 개발과정 정립 .....	37
1. 모형의 개발방향 설정 .....	37
2. 모형개발을 위한 요구조건 분석 .....	38
3. 개발모형의 개념 및 접근법 .....	41
4. 개발모형의 구조 .....	48
제2절 개발모형의 추정문제 정의 .....	51

1. 입·출력 변수의 정의 .....	51
2. 추정모형 식의 정의 .....	52
3. 파라미터 최적화를 위한 목적함수의 정의 .....	52
제3절 미관측 도로구간의 AADT 추정을 위한 KL모형 개발 .....	55
1. 입·출력 자료의 정의 .....	56
2. KL모형의 개발과정(모형 식) .....	57
3. KL모형의 추정과정(알고리즘) .....	65
<b>제4장 자료의 구축 및 특성 분석 .....</b>	<b>76</b>
제1절 구축 개요 .....	76
제2절 자료의 구축 방법 .....	77
1. 관측교통량(AADT) 자료 구축방법 .....	77
2. 차량 GPS 통행 자료(AADP, 가중치 입력값) 구축방법 .....	78
3. 성능평가를 위한 입력 자료의 구축 .....	81
제3절 자료의 특성 분석 .....	84
1. AADP와 AADT의 상관관계 .....	84
2. 입력 자료의 거시적 분석 .....	87
3. 입력 자료의 미시적 분석 .....	88
<b>제5장 개발모형의 적용 및 평가 .....</b>	<b>91</b>
제1절 평가개요 .....	91
제2절 평가 설계 .....	92
1. 비교모형 선정 .....	92
2. 평가지표 설정 .....	94
제3절 파라미터 최적화 .....	98
1. 파라미터 최적화 방법 .....	98
2. 파라미터 최적화 결과 .....	99
제4절 평가 결과 .....	102
1. 종합평가 결과 .....	102
2. 고속도로 평가 결과 .....	108

3. 일반국도 평가결과 .....	111
제5절 소결 .....	114
<b>제6장 결론 및 향후 연구 .....</b>	<b>116</b>
제1절 결론 .....	116
제2절 향후 연구 .....	118
<b>참고문헌 .....</b>	<b>120</b>
<b>부록 .....</b>	<b>130</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>146</b>



## 표 목 차

<표 2-1> 모수 모형과 비모수 모형의 비교 .....	8
<표 2-2> AADT 추정모형 관련 선행연구 유형 구분 .....	10
<표 2-3> 미관측 도로구간의 AADT 추정 관련 선행연구 고찰결과 ...	17
<표 2-4> 미관측 도로구간의 AADT 추정 관련 선행연구 고찰결과 종합 ..	31
<표 3-1> KL모형의 개발유형 분류 .....	48
<표 4-1> 공간적 범위 내 교통량 자료의 현황(2014년 기준, 단위: 지점 수) ..	77
<표 4-2> 도로구간별 AADT 자료의 구축 형태 .....	77
<표 4-3> 도로구간별 AADP 자료의 구축 형태 .....	79
<표 4-4> 가중치 입력 값(c)에 대한 자료의 구축 형태 .....	80
<표 4-5> 사례분석 구간별 AADP와 AADT 입력 자료의 구축 형태 ..	82
<표 4-6> 사례분석 구간별 KNN 입력 자료의 구축 형태 .....	83
<표 5-1> 전국 상시조사 지점들에 대한 월별 평균 일교통량 .....	95
<표 5-2> 전국 상시조사 지점들에 대한 요일별 평균 일교통량 .....	96
<표 5-3> 전체 대상구간에 대한 적용모형별 평가결과 .....	104
<표 5-4> 고속도로에 대한 적용모형별 평가결과 .....	108
<표 5-5> 일반국도에 대한 적용모형별 평가결과 .....	111

## 그 립 목 차

<그림 1-1> 연구의 수행체계 .....	6
<그림 3-1> 전체 AADT 자료의 빈도 분포 .....	41
<그림 3-2> AADP와 AADT의 상관관계 .....	43
<그림 3-3> 본 연구의 국부적인 추정모형의 형태 .....	44
<그림 3-4> 3가지 형태의 KNN 추출방법 개념 .....	46
<그림 3-5> 본 연구의 AADT 추정모형 개념 .....	47
<그림 3-6> KL모형의 전체 개발 구조 .....	50
<그림 3-7> KL모형의 세부적인 기능 분류 .....	55
<그림 3-8> KL모형의 전체 개발과정 .....	57
<그림 3-9> 전체 관측구간에 대한 k값별 추정오차 산출 개념 .....	60
<그림 3-10> Global k값의 최적화 개념 .....	62
<그림 3-11> 주어진 대상구간에 대한 Local k값의 최적화 개념 .....	63
<그림 3-12> 주어진 대상구간의 AADT 추정 개념 .....	64
<그림 3-13> 황금분할법 개념 .....	66
<그림 3-14> 추정모형 식의 파라미터 최적화 알고리즘(배정교통량 미적용) ..	68
<그림 3-15> 추정모형 식의 파라미터 최적화 알고리즘(배정교통량 적용) .....	70
<그림 3-16> 전체 관측구간에 대한 k값별 추정오차 산출 알고리즘(Step 1) ..	72
<그림 3-17> Global k값의 최적화 알고리즘(Step 2) .....	73
<그림 3-18> 주어진 대상구간의 Local k값 최적화 알고리즘(Step 3) ..	74
<그림 3-19> 주어진 대상구간의 AADT 추정 알고리즘(Step 4) .....	75
<그림 4-1> 자료의 구축 과정 .....	76
<그림 4-2> 개별 통행사슬 데이터 생성 개념 .....	78
<그림 4-3> 가중치 입력 값의 생성 개념 .....	79
<그림 4-4> 사례분석 네트워크의 위치도 .....	81
<그림 4-5> AADP와 AADT의 상관관계(고속도로) .....	85

<그림 4-6> AADP와 AADT의 상관관계(일반국도) .....	86
<그림 4-7> 자료의 거시적 분석 결과(전체 사례분석 구간 대상) .....	88
<그림 4-8> 자료의 미시적 분석 결과(전체 사례분석 구간 대상) .....	90
<그림 5-1> 개발모형의 평가 과정 .....	91
<그림 5-2> 적중률(%)의 산출 개념 .....	96
<그림 5-3> 적용모형별 Global k값의 최적화 결과 .....	100
<그림 5-4> 적용모형별 Local k값의 최적화 결과 .....	101
<그림 5-5> 적용모형별 APE에 따른 누적비율(전체 대상구간, %) ...	106
<그림 5-6> 적용모형별 관측교통량과 추정교통량의 산포도(전체 대상구간) ..	107
<그림 5-7> 적용모형별 APE에 따른 누적비율(고속도로, %) .....	109
<그림 5-8> 적용모형별 관측교통량과 추정교통량의 산포도(고속도로) .....	110
<그림 5-9> 적용모형별 APE에 따른 누적비율(일반국도, %) .....	112
<그림 5-10> 적용모형별 관측교통량과 추정교통량의 산포도(일반국도) .....	113

## 약어 표

AADT	- 연평균 일교통량(Annual average daily traffic)
KNN	- $k$ 개의 최근린 이웃( $k$ -nearest neighbors)
LWLR	- 국부 가중선형회귀(Locally weighted linear regression)
AADP	- 연평균 일프로브통행량(Annual average daily probe)
LR	- 선형회귀(Linear regression)
ARIMA	- 자기회귀 이동평균(Autoregressive integrated moving average)
GA	- 유전자 알고리즘(Genetic algorithm)
NN	- 신경망(Neural network)
NPR	- 비모수 회귀(Nonparametric regression)
GWR	- 공간 가중회귀(Geographically weighted regression)
SARIMA	- 계절형 ARIMA(Seasonal autoregressive integrated moving average)
TMG	- Traffic Monitoring Guide(U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration)
TDMs	- 교통수요모형(Traffic demand models)
MSE	- 평균제곱오차(Mean squared error)
MDAPE	- 중앙 절대 백분위 오차(Median absolute percent error)
OLS	- 통상적인 최소자승법(Ordinary least squares)
WLS	- 가중 최소자승법(Weighted least squares)
MAPE	- 평균 절대 백분위 오차(Mean absolute percent error)
ML	- 최대우도법(Maximum likelihood)
REML	- 제한최대우도법(Restricted maximum likelihood)
MDPE	- 중앙 백분위 오차(Median percent error)
$ci$	- 연결성지수(Connectivity index)
$pd$	- 최단경로거리(Shortest path distance)
$ed$	- 유클리디안거리(Euclidean distance)
WMAPE	- 가중평균 절대 백분위 오차(Weighted mean absolute percentage error)
GLR	- 전역 선형회귀(Globally linear regression)
SWA	- AADP 기반 공간 가중평균(Spatial weighted average)
HR	- 적중률(Hit rate)
MRPE	- 평균 상대 백분위 오차(Mean relative percentage error)
SDRPE	- 상대 백분위 오차의 표준편차(Standard deviation relative percentage error)
APE	- 절대 백분위 오차(Absolute percentage error)

# 제1장 서론

## 제1절 연구의 배경 및 목적

최근 IT기술의 발전으로 인하여 루프검지기, 영상검지기 등과 같이 고정된 조사지점에서 교통정보를 수집하는 기존의 단순관측 및 고정센서 조사 수집체계에서 스마트폰, 내비게이션 등과 같이 도로상에서 개인 또는 개별 차량의 GPS 이동궤적정보를 수집할 수 있는 이동센서 조사 수집체계로 변화하고 있다. 이로 인해 가용할 수 있는 데이터의 양과 질, 그리고 시·공간적 범위가 전국으로 확대되면서 그야말로 대용량 자료의 시대로 진입하게 되었다. 차량용 내비게이션은 운행 중인 거의 모든 차량에 설치되어 있는 필수장치로서 내비게이션에서 생성되는 데이터를 수집하고 저장하기 위한 기술적인 안정성도 충분히 확보되어 있는 상태이다. 또한 정부 3.0의 10대 추진과제<sup>1)</sup> 중 하나인 빅데이터(Big data)의 활용이라는 측면에서 차량용 내비게이션에서 수집되고 있는 개별 차량의 GPS 통행 자료에 대한 적극적인 활용이 필요한 시점이다.

위의 자료가 도로구간별로 통과하는 전체 교통량의 표본 자료인 점을 고려해 볼 때, 연평균 일교통량(Annual average daily traffic, 이하 AADT)<sup>2)</sup> 추정과 관련된 연구의 입력 자료로서 활용이 가능할 것으로 판단된다. 이와 관련된 선행연구들을 살펴보면, 상시조사와 수시조사 지점<sup>3)</sup>과 같이 교통량 조사지점을 대상으로 한 결측값 보정 및 AADT 추

- 1) 정부 3.0은 공공정보를 적극적으로 개방하고 공유하며, 부처 간 칸막이를 없애 소통하고 협력함으로써, 국민 맞춤형 서비스를 제공하고 동시에 일자리 창출과 창조경제를 지원하는 새로운 정부운영 패러다임이다. 여기에는 3대 전략과 10대 추진과제가 있다(출처: 정부 3.0 홈페이지, <http://www.gov30.go.kr/>).
- 2) 연평균 일교통량(AADT)은 주어진 한 지점(또는 구간)에서 1년 동안 통과한 전체 차량대수를 365일로 나눈 하루 평균 교통량을 말하며, 교통관련 연구 분야에서 가장 기본이 되는 변수로서 이용되고 있다(Roess et al., 2004). 또한 도로 교통계획의 수립과 교통투자 평가에서 의사결정을 지원하는 수단뿐만 아니라 교통시설물의 유지관리, 교통신호 운영, 교통혼잡비용 산정, 차량주행거리 산출 등 다양한 분야에 걸쳐 활용 빈도가 높은 자료이다.

정과 관련된 연구 분야와 교통량 조사가 수행되고 있지 않는 미관측 도로구간의 AADT 추정과 관련된 연구 분야로 나눌 수가 있다. 이 중 미관측 도로구간의 AADT 추정모형을 개발하기 위한 입력 자료로서 본 연구의 GPS 차량 통행 자료를 활용하고자 한다.

미관측 도로구간에 대한 기존 AADT 추정모형의 입력 자료들은 과거 데이터 수집 및 저장 기술의 한계로 인하여 특정 지역 또는 구간에서의 한정된 교통량 자료와 거시적 단위의 사회·경제적 지표(인구수, 자동차 등록대수, 근로자수 등)에 의존해왔으며, 도로구간의 특성을 나타낼 수 있는 일부 미시적 단위의 자료로는 GIS에서 일반적으로 제공하고 있는 링크정보(차로수, 연장, 제한속도 등)와 실제 관측 값이 아닌 TransCAD 등과 같이 교통수요모형에 의해서 산출된 추정 값들(통행배정량, 최단경로거리 등)만이 제한적으로 활용되고 있었다. 이러한 입력 자료의 환경이다 보니 기존 AADT 추정모형들은 특정 통계모형의 파라미터에 의존하는 모수(Parametric) 모형만을 적용하고 있는 실정이며, 차량용 내비게이션에서 수집되고 있는 GPS 차량 통행 자료와 같이 미시적인 대용량 자료를 활용한 사례는 전무한 실정이다.

또한 미관측 도로구간의 AADT를 추정하기 위하여 대상구간과 인접한 교통량 조사 지점의 관측교통량 자료가 절대적으로 필요하다. 교통량 조사 지점 중 상시조사 지점의 경우는 고정식 교통량 조사장비에서 수집되고 있는 통과교통량 자료를 이용하여 AADT를 직접적으로 산출할 수 있기 때문에 간접적으로 AADT를 추정하는 기존 모형들의 추정결과 보

- 
- 3) 상시조사(Permanent survey)는 해당 조사 지점에 교통량 조사 장비(고정식 조사 장비)를 설치하여, 장기간에 걸쳐 그 특정 지점을 통과하는 차량 수를 관측하고 기록하는 조사이다. 이 조사의 목적은 특정 장소의 교통량을 장기간 동안 조사하여 그 지점의 교통 변동에 대해 월별, 계절별 특성을 포함하여 시계열적으로 파악하는 데 있다. 반면, 수시조사(Coverage survey)는 기본 교통량 자료가 필요하다고 판단되는 모든 구간에 대하여 광범위하게 실시하는 조사로서, 전체적인 도로 이용 상황을 파악하기 위한 조사이다. 이 조사의 목적은 지점 또는 도로 구간의 AADT의 산출을 위한 기본 교통량을 구하는 것이다[출처: 국토해양부(2012), “도로교통량 조사지침(국토해양부 예규 제2012-252호)”].

다는 AADT의 정확도가 높은 것은 당연할 것이다. 만약 모형을 이용하여 추정하는 방법이 아니라 전체 미관측 도로구간을 대상으로 상시조사 지점의 고정식 교통량 조사 장비를 설치하여 직접적으로 AADT를 산출한다면 이 방법이 가장 이상적인 방법이 될 것이다. 하지만 이러한 방법은 국가의 예산 문제 때문에 현실적으로 적용하는 것은 불가능하므로 상시조사 지점의 물리적인 추가 설치보다는 현재 기 설치되어 있는 조사 지점들의 관측교통량 자료를 최대한 활용하면서 추정 결과의 정확도를 보다 더 향상시킬 수 있는 새로운 방법론을 개발하는 것이 훨씬 효율적인 방법이라고 판단된다.

따라서 본 연구에서는 차량용 내비게이션에서 수집되고 있는 개별 차량의 GPS 통행 자료를 활용하여 미관측 도로구간의 AADT를 추정하기 위한 모형을 개발하고자 한다. 관련 선행연구들과는 달리 본 연구의 추정모형으로 비모수 모형을 우선적으로 적용해보고자 하며, 기존 지역 단위의 거시적인 추정모형이 아닌 개별 도로구간의 특성을 고려하는 대용량 이력자료 기반의 미시적인 추정모형의 형태로 개발하고자 한다. 또한 본 개발모형은 모형의 일반화, 적용 파라미터의 자동정산, 모형의 연산 수행속도 등을 고려하여 향후 시스템의 모형 탑재와 효율적인 운영에 충족하도록 한다.

## 제2절 연구의 범위 및 방법

본 연구의 시간적 범위는 2014년 연평균 기준으로 입력 자료를 구축하며, 공간적 범위는 상시조사 지점이 포함되어 있는 전국 고속도로와 일반국도를 대상으로 하여 분석 네트워크 단위로 설정한다.

그리고 본 연구에서 개발되는 AADT 추정모형은 GPS 차량 통행 자료를 활용하여 미관측 도로구간의 AADT를 추정하는 모형으로 향후 시스템의 내부 모듈로서 모형 탑재를 목표로 한다. 여기서, 본 연구의 추정모형을 개발하기 위한 연구의 방법은 다음과 같다.

첫째, 본 개발모형은 개별 차량용 내비게이션에서 수집되고 있는 GPS 차량 통행 자료를 입력 자료로 활용하며, 교통량 추정영역은 상시 또는 수시 교통량 조사지점이 아닌 미관측 도로구간의 AADT를 추정하는 것이다.

둘째, 본 연구에서는 미관측 도로구간의 AADT 추정에 대한 불확실성을 극복하기 위하여 비모수(Nonparametric) 모형을 적용한 AADT 추정 모형, 즉 KL모형을 개발하고자 한다. KL모형은 비모수 모형인  $k$ 개의 최근린 이웃( $k$ -nearest neighbors, 이하 KNN)기법과 모수 모형인 국부 가중선형회귀(Locally weighted linear regression, 이하 LWLR)모형이 결합된 모형으로 본 연구에서 정의한 추정모형 식의 형태와 적용 가중치의 종류에 따라 총 6가지 형태의 모형으로 개발한다. KL모형 중 KNN기법은 주어진 대상구간의 최종 의사결정 군집을 구축하기 위하여 군집의 개수인  $k$ 값에 대한 파라미터 최적화를 수행한다. 다음으로 LWLR모형은 앞서 구축한 최종 군집의 입력 자료를 이용하여 추정모형 식의 파라미터(기울기, 절편) 최적화를 수행한 후, 해당 대상구간의 AADT를 추정한다.

셋째, 본 개발모형의 성능평가를 위하여 선행되는 단계로서 방대한 양의 GPS 차량 통행 자료를 이용하여 개별 도로구간 단위의 입력 자료를 구축하고자 한다. 즉, 해당 자료를 구간별 연평균 일프로브통행량(Annual Average Daily Probe, 이하 AADP)으로 집계하여 개발모형의 예측변수로 적용하고, 이를 3가지의 KNN 추출방법에 따라 가중치 입력값으로 추출하여 개발모형의 가중치로 적용한다. 그리고 향후 개발모형의 시스템 탑재와 효율적인 운영을 위하여 구축된 입력 자료를 기반으로 하는 미관측 도로구간의 AADT 추정모형으로 개발하도록 한다.

마지막으로 구축된 입력 자료를 이용하여 개발하고자 하는 6가지 형태의 KL모형에 대한 각 성능평가를 수행하도록 한다. 본 개발모형의 성능평가는 도로특성별 사례분석 네트워크를 대상으로 파라미터 최적화 결과, 추정된 교통량의 정확도와 신뢰도 평가지표 등을 통하여 종합적으로 평가한다.



### 제3절 연구의 수행체계

본 연구는 연구의 배경 및 목적, 선행연구 고찰, GPS 차량 통행 자료 기반 AADT 추정모형 개발, 자료구축 및 특성 분석, 개발모형의 적용 및 평가, 결론 및 향후 연구로 수행되며, 연구의 수행체계는 <그림 1-1>과 같다.

2장에서는 AADT 추정 모형과 관련된 선행연구의 선정 및 체계를 설명하고, 상시조사 교통량의 결측값 보정, 수시조사 교통량 기반 AADT 추정, 미관측 도로구간의 AADT 추정과 같이 선정된 연구 분야별로 선행연구를 고찰한다. 그리고 선행연구들의 고찰 내용을 바탕으로 기존 추정 모형의 한계 및 문제점을 도출하고 본 연구의 차별성과 기여를 분석한다.

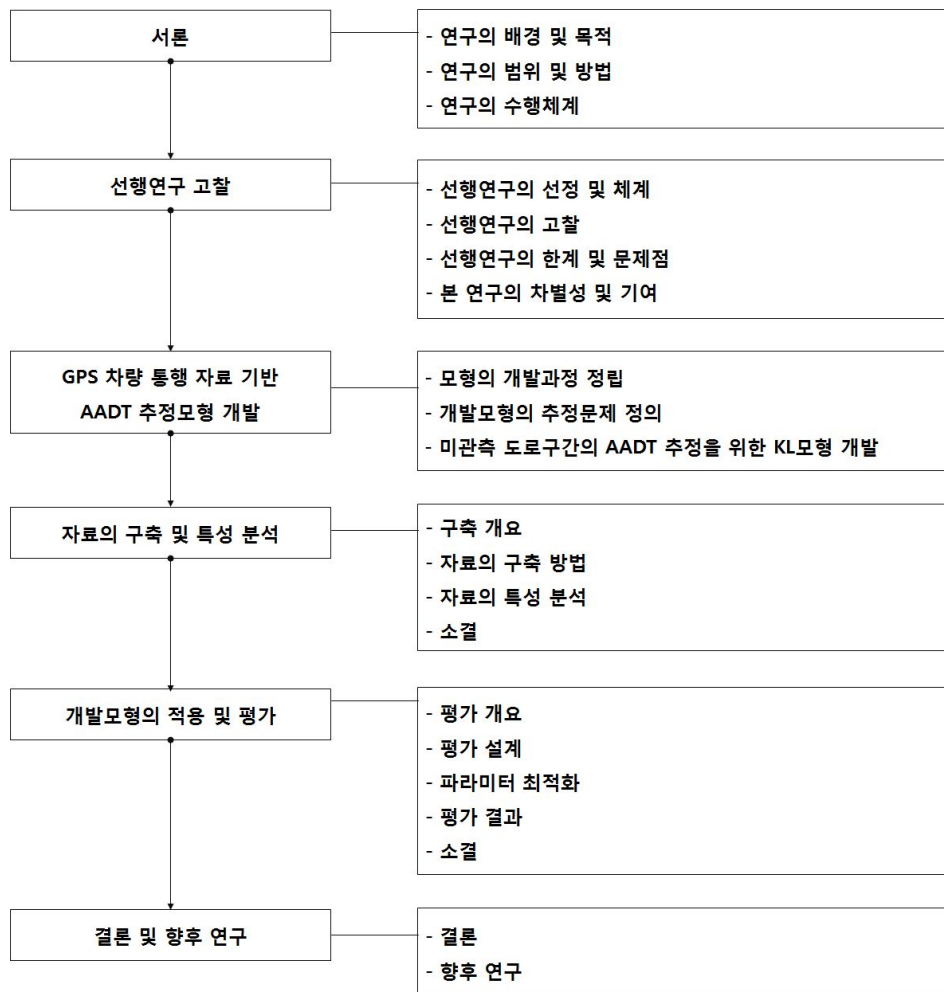
3장에서는 본 연구의 AADT 추정모형을 개발하기 위한 전체적인 개발과정을 구체적으로 설명하도록 한다. 첫째, 본 연구의 AADT 추정모형의 개발과정을 정립하는 단계로서 모형의 개발방향, 모형의 개발을 위한 요구조건 분석, 개발모형의 개념 및 접근법, 개발모형의 구조에 대하여 설명한다. 둘째, 개발모형의 추정문제를 정의하는 단계로서 입·출력 변수의 정의, 추정모형 식의 정의, 파라미터 최적화를 위한 목적함수의 정의에 대하여 설명한다. 마지막으로 미관측 도로구간의 AADT를 추정하기 위한 KL모형의 개발 단계로서 입·출력 자료의 정의, KL모형의 개발(모형 식), KL모형의 추정과정(알고리즘)에 대하여 설명한다.

4장에서는 개발모형의 성능평가를 위한 자료의 구축 및 특성분석에 대하여 설명한다. 자료의 구축은 구축 개요, 자료의 구축 방법, 자료의 특성 분석으로 구성된다. 여기서, 구축된 자료의 특성은 AADT 추정의 관점에서 설명하며, 성능평가를 위한 입력 자료는 선정된 사례분석 네트워크 내 도로구간별 AADP, AADT, KNN DB로 구축한다.

5장에서는 4장에서 구축한 입력 자료를 이용하여 개발모형의 성능을 종합적으로 평가하도록 한다. 개발모형의 평가는 평가 개요, 평가 설계, 파라미터 최적화, 평가결과, 소결로 구성된다. 평가 설계는 비교모형 선

정, 평가지표 설정에 대하여 설명하고, 파라미터 최적화 과정을 통하여 대상구간과 인접한  $k$ 개의 최종 의사결정 군집에 대하여 설명한다. 평가 결과는 사례분석 네트워크를 대상으로 설정된 평가지표를 통하여 종합적으로 평가를 수행한다.

마지막으로 6장에서는 본 연구의 결론 및 시사점, 개발된 추정모형의 활용방안, 개발모형의 한계 및 향후 고도화를 위한 연구 과제를 제시하도록 한다.



<그림 1-1> 연구의 수행체계

## 제2장 선행연구 고찰

### 제1절 선행연구의 선정 및 체계

AADT 추정모형과 관련된 선행연구들에서는 공통적으로 주어진 대상 구간으로부터 인접한 교통량 조사지점들의 관측교통량 자료가 필요하다. 여기서, 교통량 조사는 앞서 1장에서 설명한 바와 같이 상시와 수시조사로 구분할 수 있다. 관련 선행연구는 이러한 교통량 조사지점을 대상으로 한 연구와 교통량 조사가 수행되고 있지 않은 미관측 도로구간을 대상으로 한 연구로 구분할 수가 있다.

먼저 교통량 조사지점을 대상으로 한 연구를 살펴보면, 상시조사 지점에서는 고정식 기계조사장비를 이용하여 1년 365일 매 수집시간 단위로 통과차량들의 데이터를 수집하고 있기 때문에 천재지변, 도로공사, 교통사고, 통신장애 등으로 인하여 불가피하게 결측 데이터(Missing data)가 발생하게 된다(Turner et al., 1999). 이러한 결측 데이터는 상시조사 지점에서 직접적으로 산출되고 있는 AADT의 정확도를 감소시키게 되므로 해당 수집시간대에서 발생하는 결측값을 보정해야 하며, 그 동안 이와 관련된 다양한 연구들이 진행되어 왔다.

그리고 수시조사 지점에서는 1년 중 일부 특정기간 동안에만 교통량 조사를 수행하기 때문에 상시조사 지점과 같이 직접적으로 AADT를 산출할 수 없고 간접적으로 AADT를 추정해야 한다. 즉, 수시조사 지점의 조사교통량에는 수행된 조사시점에 따른 시계열적 변동성이 포함되어 있으므로 해당 지점의 AADT를 추정하기 위해서는 수시교통량 조사 자료를 보정해야만 한다. 이와 같이 조사된 수시조사 교통량을 이용하여 AADT를 추정하는 방법과 관련된 다양한 연구들도 진행되어 왔다.

앞서 설명한 상시 또는 수시조사 지점들은 전체 도로구간 중 극히 일부분에 해당되며, 최근 들어 교통량 조사지점을 제외한 나머지 미관측 도로구간들의 AADT 추정에 관심을 갖게 되면서 이와 관련한 다양한

연구들이 진행되어왔다. 따라서 본 연구에서는 상시조사 교통량의 결측값 보정, 수시조사 교통량을 이용한 AADT 추정, 미관측 도로구간의 AADT 추정과 같이 3가지의 관련 연구 분야를 선정하고 해당 분야별로 선행연구 고찰을 수행하고자 한다.

위의 선행연구들에서 적용되고 있는 모형들은 크게 모수 모형과 비모수 모형으로 구분할 수가 있다. 과거에는 교통량 수집 및 저장 기술의 한계로 인하여 한정된 공간의 교통량 자료만을 이용하였으며, 이로 인해 특정 통계분포함수에 의존한 모수 모형만이 적용되어왔다. 하지만 현재 다양한 교통량 조사장비의 개발과 더불어 교통량 조사방식도 과거 고정식 조사수집체계에서 이동식 조사수집체계로 변화하고 있다. 즉, 교통량 자료의 양과 질, 그리고 공간적 범위가 전국적으로 확장되고 있다는 것을 의미한다. 이러한 자료의 환경에서 기존의 통계적 기반의 모수 모형뿐만 아니라 모집단의 특정 분포함수를 가정하지 않고 데이터 속의 내재적인 특성을 고려하는 비모수 모형을 적용한 연구들도 꾸준히 증가하고 있다. 여기서, 모수 모형과 비모수 모형에 대한 비교는 <표 2-1>과 같다.

<표 2-1> 모수 모형과 비모수 모형의 비교

구분	모수 모형	비모수 모형
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 모집단의 특정 분포함수를 가정함 → 확률적인 상태(Stochastic state)</li> <li>· 통계모형 기반 고정적 파라미터</li> <li>· 적용모형 : 선형회귀, 자기회귀이동평균, 칼만 필터 등</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 모집단의 특정 분포함수를 가정하지 않음 → 혼돈 상태(Chaos state) 또는 혼재 상태(Mixed state)</li> <li>· 데이터 기반 가변적 파라미터</li> <li>· 적용모형 : <math>k</math>개의 최근린 이웃, 신경망, 유전자 알고리즘 등</li> </ul>
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 특정 분포함수 내에서는 비모수 모형보다 검정력이 우수함</li> <li>· 등간척도와 비율척도의 표본 적용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 모집단 확률분포의 영향을 받지 않음</li> <li>· 정규성에 대한 가정이 필요 없음</li> <li>· 순위척도의 표본에도 적용가능</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 모집단 확률분포의 영향을 받음</li> <li>· 정규성에 대한 가정이 필요함</li> <li>· 순위척도의 표본에 적용이 어려움</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 특정 분포함수 내에서는 모수모형보다 검정력이 떨어질 수 있음</li> </ul>

## 제2절 선행연구의 고찰

AADT 추정 모형과 관련된 선행연구들은 상시 또는 수시조사 지점과 같이 교통량 조사 지점을 대상으로 하는 상시조사 교통량의 결측값 보정과 수시조사 교통량을 이용한 AADT 추정과 관련된 연구들과 교통량 조사 지점을 제외한 미관측 도로구간의 AADT 추정과 관련된 연구들이 진행되어 왔다. 따라서 관련 선행연구 고찰은 <표 2-2>과 같이 ①상시조사 교통량의 결측값 보정, ②수시조사 교통량을 이용한 AADT 추정, ③미관측 도로구간의 AADT 추정으로 구분하여 수행한다. 그리고 최근 연구의 경향은 데이터 수집 및 저장 환경의 변화로 인하여 통계적 기반의 모수 모형뿐만 아니라 비모수 모형을 적용한 연구들도 꾸준히 진행되고 있다.

첫째, 상시조사 교통량의 결측값 보정을 위한 적용모형은 선형회귀(Linear regression, 이하 LR)모형, 자기회귀 이동평균(Autoregressive integrated moving average, 이하 ARIMA), 칼만 필터(Kalman filter), EM(Expectation maximization)모형, DA(Data augmentation)모형, 마코브 체인 몬테카를로(Markov chain monte carlo) 등과 같은 모수 모형과 유전자 알고리즘(Genetic algorithm, 이하 GA), 인공신경망(Artificial neural network, 이하 NN)모형, KNN-NPR(비모수 회귀, Non-parametric regression) 모형 등과 같은 비모수 모형이 있다.

둘째, 수시조사 교통량을 이용한 AADT 추정모형은 통상적으로 적용되고 있는 보정계수(Seasonal factor) 적용방법, 다중회귀모형(Multiple linear regression) 등과 같은 모수 모형과 클러스터링(Clustering) 기법, NN모형, NN-GA모형 등과 같은 비모수 모형이 있다.

마지막으로 미관측 도로구간의 AADT 추정모형은 단순회귀(Simple linear regression)모형, 다중회귀모형, 공간가중회귀(Geographically Weighted Regression, 이하 GWR)모형, 크리깅(Kriging)모형 등과 같이 모두 통계적 기반의 모수 모형으로 비모수 모형을 적용한 연구는 전무한 실정이다.

<표 2-2> AADT 추정모형 관련 선행연구 유형 구분

구분	접근법	적용모형	선행연구
상시조사 교통량의 결측값 보정	모수 모형	LR	Rubin(1987), Chen(2003)
		ARIMA	Chandra(2004)
		칼만 필터	SI. Dailey(1993)
		EM, DA	Dempster(1977), Schafer(1997), Tanner(1987), Ni(2005)
		마코브 체인 몬테카를로	Schafer(1997)
	비모수 모형	신경망모형	Zhong(2004)
		유전자알고리즘	
		KNN-NPR	Liu(2008), Chang(2012)
수시조사 교통량을 이용한 AADT 추정	모수 모형	보정계수 적용방법의 개선	백남철(2002), 임성한(2004), 하정아(2012)
		다중회귀모형	Faghri(1994), Lingras(1996)
		항공사진 이용	McCord(2003), Jiang(2006)
	비모수 모형	클러스터링기법	Sharma(1986), Flaherty(1993), Faghri(1994), Lingras(1995), Li(2008), Gecchele(2012), Rossi(2012), Gastaldi(2013), Rossi(2014)
		신경망모형	Faghri(1994), Lingras(1995), Lingras(1996), Sharma(1999), Sharma(2000), Sharma(2001)
		신경망+ 유전자 알고리즘	Lingras(2001)
미관측 도로구간의 AADT 추정	모수 모형	단순회귀모형	Zhong(2009)
		다중회귀모형	Mohamad(1998), Xia(1999), Zhao(2001), Anderson(2006), Lowry(2014), Yang(2014)
		공간가중회귀모형	Zhao(2004), Selby(2013)
		크리깅모형	Eom(2006), Wang(2009), Selby(2013), 하정아(2013), Shamo(2014)
	비모수 모형	-	-

## 1. 상시조사 교통량의 결측값 보정

상시조사 지점의 기계식 교통량조사 장비에서 불가피하게 발생하는 결측 자료의 보정에 관심을 갖게 되면서 그 동안 이와 관련된 다양한 연구들이 진행되어 왔다. 선행연구들에서 적용되고 있는 결측값 보정모형은 크게 모수 모형과 비모수 모형으로 구분할 수 있다. 모수 모형에는 선형회귀모형, ARIMA, 칼만 필터, EM모형, DA모형, 마코브 체인 몬테카를로 등이 있으며, 비모수 모형에는 GA, NN모형, KNN-NPR모형 등이 있다. 최근 들어 통계적 기반의 모수모형 뿐만 아니라 모집단의 특정 통계분포를 가정하지 않고 데이터 속에 내재되어 있는 특성을 고려하는 비모수 모형을 적용한 연구들도 활발히 진행되고 있다.

상시조사 지점에서의 결측값 보정방법은 단순 보정(Single imputation)과 다중 보정(Multiple imputation)방법으로 구분할 수가 있다. 단순 보정방법은 하나의 수집시간대에서 발생하는 시계열 수집데이터의 결측값을 보정하는 방법을 말하며, 다중 보정방법은 하나의 수집시간대가 아닌 다중의 수집시간대에서 발생하는 데이터의 결측값을 보정하는 방법을 말한다. 먼저, 단순 보정에 주로 적용되고 있는 모형으로는 선형회귀모형을 적용한 보정방법과 ARIMA, 칼만 필터 등과 같은 시계열 모형들이 있다. Chen et al.(2003)은 하나의 루프검지기(Loop detector)에서 수집되고 있는 데이터에 포함된 결측값을 보정하기 위하여 단순회귀모형 기반의 보정방법을 제안하였다. Chandra and Al-Deek(2004)는 이중 루프검지기의 수집데이터에 포함된 결측값을 보정하기 위하여 다중회귀모형과 ARIMA모형을 각각 적용하여 서로 비교·분석하였다. Dailey(1993)는 장래 교통상태의 예측에 널리 이용되고 있는 칼만 필터 모형을 루프검지기의 결측값 보정에 적용하였다.

이와 같이 단순 보정에 적용한 모형들은 편향성(Bias)과 불확실성(Uncertainty)이라는 문제점을 가지게 된다. 즉, 하나의 결측값만을 보정할 경우 해당 입력 자료의 변동에 따라 다소 편향된 결과를 가져올 우려

가 있으며, 다중의 결측값을 고려하지 않기 때문에 추정 값에 대한 불확실성을 더 증가시키게 된다. 이러한 단순 보정의 문제점을 극복하기 위하여 다중 보정방법이 개발되었다. 이 방법은 알 수 없는 상황에서의 불확실성을 감소시킬 수 있는 모형으로 다중의 수집시간대에서 발생하는 결측값들을 보정할 수 있다.

다중 보정을 위한 적용모형도 크게 모수 모형과 비모수 모형으로 구분할 수 있다. 먼저 모수 모형은 선형회귀모형(Rubin, 1987), EM모형(Dempster et al., 1977; Schafer, 1997), DA모형(Tanner and Wong, 1987), EM-DA모형(Ni et al., 2005), 마코브 체인 몬테카를로 방법(Schafer, 1997) 등이 적용되어 왔다. 모수 모형들 중 선형회귀모형 기반의 보정방법은 단조로운(monotone) 결측값 패턴에서 적용이 용이하며, EM-DA모형과 마코브 체인 몬테카를로 방법은 임의적인(arbitrary) 결측값 패턴에서 적용이 용이하다(Ni et al., 2005).

실제 현장의 결측값에서는 단조로운 패턴과 임의적인 패턴이 다양하게 혼재되어 있어 한 가지의 방법으로만 결측값을 보정하는 것은 한계가 있다. 즉, 이러한 수집데이터의 특성 상 정규분포(Normal distribution) 등과 같이 모집단에 대한 특정 분포함수를 가정할 수가 없다. 따라서 모집단의 특정 분포함수를 가정하지 않고 수집되는 데이터 속에 내재되어 있는 다양한 교통류의 특성을 반영할 수 있는 비모수 모형(NN모형, GA모형, KNN-NPR모형 등)을 적용한 연구들이 진행되어 왔다.

Zhong et al.(2004)은 결측값 보정의 정확도를 개선하기 위하여 모수 모형과 비모수 모형이 결합된 형태의 모형을 제안하였다. 즉, 회귀모형(Regression model)과 GA모형이 결합된 RG모형, GA모형과 NN모형이 결합된 GN모형을 제안하였다. 그리고 적용된 비모수 모형들은 LWLR 모형, 계절형 ARIMA(Seasonal autoregressive integrated moving average, 이하 SARIMA)모형과 같은 모수 모형들과 서로 비교·분석하였다. 그 결과 모수 모형보다는 비모수 모형을 결합한 형태의 적용모형이 더 우수한 결과를 나타냈다. Liu et al.(2008)는 비 휴일기간에서도 예측



의 정확도가 우수한 KNN-NPR모형을 적용하여 휴일기간 동안의 수집 자료에 대한 결측값을 보정하였다. 그리고 KNN-NPR모형은 입력 자료에 대한 요구조건이 유동적이기 때문에 최근 실무에서 해당 모형을 많이 이용하고 있다고 설명하였다. Chang et al.(2012)(a)은 실제 현장의 원시 데이터(Raw data)를 이용하여 KNN-NPR모형 기반의 결측값 보정방법을 제안하였다. 그 결과, 결측값 보정에 대한 변동성과 안정성을 고려할 경우, 비 모수 모형 중 하나인 KNN-NPR모형이 모수 모형인 SARIMA보다 더 우수한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 수집되는 교통량 변수의 시간적 진화 상태(Temporal evolution state)가 확률적인 상태(Stochastic state)보다는 혼돈 상태(Chaos state) 또는 혼재 상태(Mixed state)에 가까운 상태이기 때문이라고 설명하였다.

지금까지 살펴본 선행연구들은 상시조사 지점에서 직접적으로 산출되고 있는 AADT의 정확도를 높이기 위하여 고정식 기계조사장비에서 불가피하게 발생하는 결측값을 보정하는 방법들에 관한 연구들이다. 하지만, 상시조사 지점 이외의 수시조사 지점에서 조사된 교통량에 대한 AADT 추정 문제가 발생하게 된다.

## 2. 수시조사 교통량을 이용한 AADT 추정

수시조사 지점은 상시조사 지점과는 달리 연 3~5회에 걸쳐 특정기간 동안 교통량을 조사하기 때문에 직접적으로 AADT를 산출할 수 없고 조사된 교통량을 이용하여 간접적으로 AADT를 추정해야 한다. 이와 같이 수시조사 교통량을 이용하여 간접적으로 AADT를 추정하는 방법과 관련된 다양한 연구들이 진행되어 왔다.

기존의 수시조사 교통량을 이용한 AADT 추정모형은 상시조사 지점과 같이 크게 모수 모형과 비모수 모형으로 구분할 수 있다. 모수 모형에는 통상적으로 이용되고 있는 보정계수 적용방법 및 개선연구와 다중회귀모형, 항공사진을 이용하는 방법 등이 있으며, 비모수 모형에는 클러스터링기법, NN모형, NN-GA모형 등이 있다.

먼저, 모수 모형 중에서 통상적으로 이용되고 있는 대표적인 방법은 미국 FHWA<sup>4)</sup>(2013)의 Traffic Monitoring Guide(이하 TMG)에서 제시하고 있는 인접한 상시조사 지점의 보정계수를 적용하는 방법이다. 이 방법은 ①시계열적 교통량 분포 패턴이 유사한 상시조사 지점의 군집화, ②각 상시조사 지점의 군집 또는 도로 등급별 평균 보정계수 결정, ③각 상시조사 지점의 군집에 수시조사 지점 할당, ④수시조사 지점별 해당 군집의 보정계수 적용 및 AADT 추정과 같이 크게 4단계에 걸쳐 AADT를 추정한다. 위에서 말하는 보정계수는 월 변동계수와 요일 변동계수를 의미한다. 월 변동계수는 해당 구간의 AADT에 대한 월 평균 일교통량의 비율을 의미하며, 요일 변동계수는 해당 구간의  $i$ 월 평균 일교통량에 대한  $j$ 요일 평균 일교통량의 비율을 의미한다.

Bodley(1967)은 전통적인 TMG 방법에서 3가지 종류의 오차가 존재한다고 설명하였다. 첫째, 수시조사 지점의 조사 교통량에 대한 관측오차(Observation Error)이며, 둘째, 각 그룹 평된 상시조사 군집에 수시조사 지점이 제대로 할당되지 못할 경우에 발생하는 판별오차(Discriminant error), 셋째는 그룹 평된 상시조사 군집에 수시조사 지점이 제대로 할당되더라도 해당 상시조사 군집의 잘못된 보정계수를 적용하여 발생하는 군집오차(Clustering error)이다. 여기서, 관측오차를 제외한 판별오차와 군집오차의 경우는 기존의 TMG 방법을 개선함으로서 얼마든지 줄일 수 있는 오차이므로 이러한 오차를 줄이기 위한 다음과 같은 선행연구들이 진행되어 왔다.

먼저, 백남철(2002)은 기존 TMG 방법의 판별오차를 줄이기 위하여 베이지안(Bayesian) 샘플링과 신경망 판별함수를 결합하여 교통량패턴그룹(이하 TPG)을 판별함으로서 수시조사 지점에서의 AADT를 추정하였다. 그 결과 베이지안 샘플링과 신경망 판별함수에 의한 10일 보정 조사의 판별력이 기존에 제시된 AADT에 근접한 4월, 10월의 보정 조사(주중 10일)보다 약 24% 우수한 결과로 나타났다. 또한, 기존 보정 조사의 조

---

4) U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration

사시간, 비용, 인력을 감소시키고 과다한 상시조사 장비의 설치를 줄일 수 있으며, 단순 평균하는 기존의 방법에 비해 TPG 기반의 AADT 추정 방법이 오차를 상당히 줄일 수 있다고 제시하였다. 하지만, 수집 자료가 제한된 상태에서 연구가 수행되었으므로 향후 보다 많은 자료가 수집될 경우에는 모형의 개선이 필요한 것으로 나타났다. 임성한 등(2004)은 수시조사 지점에서의 AADT를 추정하기 위하여 통상적인 보정계수 적용 방법, 동일 대구간에 기초한 방법, 최단거리에 기초한 방법을 제시하고 서로 비교·분석을 수행하였다. 그 결과, 동일 대구간에 기초한 방법이 가장 오차가 작은 것으로 나타났다. 하지만 이 방법은 동일 대구간 내 수시조사 지점들을 제외한 나머지 수시조사 지점들에 대한 AADT 추정에 어려움이 발생한다. 하정아 등(2012)은 상시조사 지점의 그룹 핑 방법을 기존의 교통량 패턴뿐만 아니라 월 변동계수, 요일 변동계수, 시간대별 교통량 비율을 모두 고려한 새로운 그룹 핑 방법을 제시하였다. 이 방법으로 그룹 핑한 각 군집의 평균 시간대별 교통량의 비율과 수시조사 지점의 시간대별 교통량의 비율을 적합도 검정을 이용하여 각 군집별로 수시조사 지점을 할당하였다. 그 결과, 기존의 동일 대구간 내 상시조사 지점의 변동계수를 적용하는 것 보다 정확도가 더 높은 것으로 분석되었다.

위의 선행연구들은 전통적인 TMG 방법을 개선하는 연구로서 상시조사 지점들에 대한 그룹 핑 문제와 그룹 핑별 수시조사 지점의 할당 문제를 주로 다뤘다. 하지만 모두 전통적인 TMG 방법을 기반으로 한 개선 연구로서 기존의 방법에서 크게 벗어나지를 못하였다. 이에 반하여 기존의 TMG 방법에서 벗어난 다양한 AADT 추정모형들을 적용한 연구들도 진행되어왔다. 이러한 모형들은 다중회귀모형, 항공사진 이용방법 등과 같은 모수 모형과 클러스터링 기법, NN모형, NN-GA모형 등과 같은 비모수 모형으로 구분할 수 있다.

모수 모형 중 다중회귀모형을 적용한 선행연구는 이항 더미변수를 설명변수로 적용한 연구(Faghri and Hua, 1994)와 수시조사 지점의 시간대별 교통량을 설명변수로 적용한 연구(Lingras and Adamo, 1996)가 수행

되었다. 다음으로 원격탐지기술을 이용하여 취득한 항공사진과 전년도 수시조사 지점의 교통량 자료를 융합하여 현재년도 AADT를 추정할 수 있는 방법론을 제안하였다(McCord et al., 2003; Jiang et al., 2006). 그 결과, 대상 구간에서 추정 오차의 범위가 10% 이내인 것으로 분석되어 추정 오차의 정확도가 선행 연구들보다 높은 것으로 분석되었다.

비모수 모형 중 클러스터링 기법을 적용한 선행연구는 계층적 군집 방법과 비 계층적 군집 방법으로 구분하여 연구가 수행되어 왔다. 먼저, 계층적 군집 방법에는  $N \times N$  거리행렬이 주어진 경우 가까운 개체들끼리 묶어감으로서 군집을 만들어 가는 병합적인 방법을 적용한 연구(Sharma et al., 1986; Lingras, 1995)와 최단 요소 연결법과 중심연결법을 적용한 연구(Faghri and Hua 1994)가 진행되어 왔다. 다음으로 비 계층적 군집 방법에는 가장 보편적으로 적용되고 있는 *k-means* 군집화 기법(Flaherty, 1993), 모형 기반(Model-based) 군집화 기법(Flaherty, 1993; Rossi et al., 2014), KNN 기법(Li and Friker, 2008), 퍼지(Fuzzy) 기법(Gecchele et al., 2012; Rossi et al., 2012; Gastaldi et al., 2013)을 적용한 연구들이 수행되어 왔다.

그리고 NN모형의 경우는 상시조사 지점의 그룹 평과 할당을 동시에 수행할 수 있는 장점이 있어 그 동안 많은 연구들에서 적용되어왔다(Faghri and Hua, 1994; Lingras, 1995; Lingras and Adamo, 1996; Sharma et al., 1999; Sharma et al., 2000; Sharma et al., 2001). 이 중 NN모형에 GA모형을 결합하여 적용한 연구도 수행되었다(Lingras, 2001). 여기서, 클러스터링 기법, NN모형, NN-GA모형과 같이 비모수 모형을 적용하여 AADT를 추정한 결과는 전통적인 TMG 방법 보다 추정 오차의 정확도가 높은 것으로 나타났다.

지금까지 살펴본 선행연구들은 수시조사 지점에서 조사된 교통량 자료를 기반으로 AADT를 간접적으로 추정하는 방법에 관한 연구들이다. 하지만 교통량 조사가 수행되고 있지 않는 미관측 도로구간의 AADT를 추정하기 위해서는 위의 추정모형들에 대한 적용 문제가 발생하게 된다.

### 3. 미관측 도로구간의 AADT 추정

상시 또는 수시조사 지점 이외에 미관측 도로구간의 AADT 추정문제에 관심을 갖게 되면서 이와 관련된 다양한 연구들이 진행되어왔다. 기존의 적용된 모형들은 모두 모수 모형만을 적용하였으며, 비모수 모형을 적용한 연구는 전무한 실정이다. 여기서, 기존의 적용된 모형들은 <표 2-3>에서 보는 바와 같이 크게 회귀모형과 공간보간 모형으로 구분할 수 있다.

<표 2-3> 미관측 도로구간의 AADT 추정 관련 선행연구 고찰결과

구분			선행연구	설명변수(또는 입력자료)
모수 모형	회귀 모형	단순회귀 모형	Zhong(2009)	통행배정량
		다중회귀 모형	Mohamad(1998)	인구수, 주행거리, 지역 구분, 고속도로의 접근성
			Xia(1999)	차로수, 도로기능분류, 지역 특성, 인구, 주거단위, 자동차 소유여부, 근로자수, 학교 등록비율 등
			Zhao(2001)	토지이용, 접근성
			Anderson(2006)	적용합수 분류, 차로수, 0.5mile이내의 인구수, 0.5mile이내의 고용자수, 통과 또는 목적지 도로인지 여부
			Lowry(2014)	내부-내부간 ODC, 내부-외부간 ODC, 외부-외부간 ODC
			Yang(2014)	일반적인 운전자 행태, 차로수, 연장, 도로상 차량 대수, 차량 밀도, 인구수, 가구수 등
		공간가중 회귀모형	Zhao(2004)	차로수, 고용자의 지역 접근성, 인구수와 고용자수, 고속도로와의 접근성
			Selby(2013)	인접한 관측 AADT, 제한속도, 차로수, 접근성
	공간 보간 모형	크리깅 모형	Eom(2006)	인접한 관측 AADT
			Wang(2009)	인접한 관측 AADT
			Selby(2013)	인접한 관측 AADT, 제한속도, 차로수, 접근성
			하정아(2013)	인접한 관측 AADT, 차로수, 인구, 주택수, 자동차등록대수, 고용율, 트럭비율, 전년도 관측교통량
			Shamo(2014)	인접한 관측 AADT

먼저 단순회귀모형은 하나의 설명변수 만을 이용하는 선형회귀의 형태로서 해당 모형을 적용한 선행 연구들은 다음과 같다. Zhong and Hanson(2009)은 교통량 조사를 수행하고 있지 않는 낮은 등급(Low-class) 도로구간의 교통량을 추정하기 위하여 단순회귀모형을 제안하였다. 적용된 설명변수로는 교통수요모형(Traffic demand models, 이하 TDMs)에서 산출한 링크구간별 통행배정량을 이용하였다. 여기서, TDMs는 TransCAD의 전통적인 4단계 모형을 적용하였으며, 이 중 수단선택모형(Mode choice model)은 제외하였다. 캐나다 뉴브런즈윅(New brunswick) 주의 2개 지역에 대하여 해당 모형을 적용한 결과, 전체 낮은 등급 도로구간들의 평균 추정오차가 40%이하인 것으로 분석되었다.

다중회귀모형은 2개 이상의 설명변수를 이용하는 선형회귀의 형태이며, 관련 선행연구들에서 적용된 설명변수는 일반적인 통계자료를 적용하거나 또는 분석가가 새롭게 개발한 지표를 설명변수로 적용하는 경우로 나눌 수 있다. 여기서, 일반적인 통계자료는 인접한 관측교통량 조사자료(AADT), 도로구간의 특성(차로수, 연장, 제한속도 등), 사회·경제적 지표(인구수, 근로자수, 토지이용 등) 등이 있다.

먼저 일반적인 통계자료를 이용하는 경우를 살펴보면, Mohamad et al.(1998)은 미국 인디애나 주의 미관측 카운티 도로(County road)구간에 대한 AADT를 추정하기 위하여 4가지의 설명변수를 이용한 다중회귀모형을 제안하였다. 여기서, 4가지의 설명변수는 인구수, 전체 간선도로 주행거리, 도시부와 지방부 도로인지 여부, 고속도로와의 접근성 여부 자료를 이용하였다. 모형의 적용 결과는 결정계수( $R^2$ )가 0.77로 분석되었으며, 적용된 설명변수 이외의 나머지 다른 6개의 설명변수는 모형의 설명력을 향상시키지 못하는 것으로 나타났다.

Xia et al.(1999)은 미국 플로리다 주 도시부 미관측 도로구간의 AADT를 추정하기 위하여 다중회귀모형을 제안하였다. 모형의 설명변수는 차로수, 도로기능분류, 지역 특성 등과 같은 도로특성변수와 인구, 주거단위, 자동차 소유여부, 근로자수, 학교 등록비율 등과 같은 사회경제

지표를 적용하였다. Anderson et al.(2006)은 미국 앨라배마 주 내 소규모 지역의 미관측 도로구간에 대한 AADT를 추정하기 위하여 5가지의 설명변수(적용함수 분류, 차로수, 0.5mile이내의 인구수, 0.5mile이내의 고용자수, 통과 또는 목적지 도로인지 여부)를 이용한 다중회귀모형을 제안하였다. 그 결과, 위의 두 연구에서 적용된 모형은 통계적으로 유의한 추정 결과를 도출하였다.

Zhao and Chung(2001)은 대도시 내 미관측 도로구간의 AADT를 추정하기 위하여 다중회귀모형을 제안하였다. GIS 기반의 네트워크를 이용하여 다양한 토지이용(Land use)과 접근성(Accessibility)에 관한 설명변수들을 적용하였다. 해당 모형은 각 설명변수들의 조합에 따라 4가지의 형태로 제안하였으며, 결정계수는 0.66~0.82로 분석되었다. 각 모형의 추정결과 중 가장 높은 평균제곱오차(Mean squared error, 이하 MSE)가 50,000대/일로 나타났다.

Yang et al.(2014)은 일반적인 운전자 행태, 도로구간의 특성(차로수, 연장 등), 인공위성 사진 정보(도로상 차량 대수, 차량 밀도 등), 사회·경제적 지표(인구수, 가구수 등)와 같은 4가지 그룹에 대한 총 16개의 설명변수를 선정하였다. 이 중 SCAD(Smoothly clipped absolute deviation penalty)방법을 적용하여 최종적으로 총 6개의 설명변수들(차로수, 가구수, 수입의 중앙값, 빈곤선 아래 사람 비율, 차량 밀도)을 선택하고 이를 이용한 다중회귀모형을 제안하였다. 추정결과는 통상적인 전진선택(Forward selection)의 단계적 회귀분석(Stepwise regression analysis)과 기존의 Zhao and Chung(2001)의 적용 모형에 비하여 우수한 결과를 도출하였다.

앞서 설명한 선행연구들에서 적용된 추정모형들은 대부분 지역 단위의 거시적인 지표들을 설명변수로 이용하였다. 일부 개별 도로구간의 특성을 나타내는 설명변수로 차로수(Number of lanes), 제한속도(Speed Limit), 주변 토지이용(Adjacent land use)과 같은 자료들을 이용하였다. 하지만 소규모 지역에서 이러한 변수들은 도로의 형태에 따라 균일하게

적용되기 때문에 도로구간별로 변화하는 관측교통량의 변동성을 적절하게 설명할 수가 없다. 또한 실제 관측 값이 아닌 특정 교통수요모형에 의하여 산출된 구간별 통행배정량을 설명변수를 이용하는 경우에도 적용된 교통수요모형의 한계를 입력 자료가 포함하고 있는 단점이 존재한다.

다음으로 기존의 일반적인 통계자료가 아닌 분석가가 새롭게 개발한 지표를 설명변수로 적용한 연구는 다음과 같다. Michael Lowry(2014)는 네트워크 분석을 위하여 위상공간(Topological space)에서의 metric 형태인 ODC(Origin-destination centrality)라는 새로운 설명변수를 개발하였다. 이 설명변수를 3가지의 형태(내부-내부간 ODC, 내부-외부간 ODC, 외부-외부간 ODC)로 구분하여 다중회귀모형에 적용하였다. 회귀계수는 Box-Cox 변환을 이용하여 통상적인 OLS방법으로 산출하였으며, 중앙 절대 백분위 오차(Median absolute percent error, 이하 MDAPE)가 약 12~75%로 분석되었으며, 관측지점이 70개 이상 넘어가면 MDAPE의 변화가 없는 것으로 나타났다.

지금까지 살펴본 단순 또는 다중회귀모형을 적용한 AADT 추정모형들은 종속변수와 설명변수 간의 관계를 전역적인 차원에서 추정하고 있다. 즉, 추정모형의 회귀계수가 주어진 공간상에서 하나의 값으로 최적화되는 것을 의미한다. 그러나 실제로 변수들 간의 관계 또는 공간적 연관성이 모든 지역에서 동일하게 적용되지 않는 경우가 많다. 이럴 경우 기존의 전역적인 차원에서 변수들 간의 관계가 어떠한 특정 지역에서는 잘 나타나지 않을 수가 있다.

따라서 설명변수가 종속변수에 미치는 영향이 공간상에서 일정하지 않다는 공간적 이질성(Spatial heterogeneity) 문제를 고려하는 GWR모형을 적용한 연구들이 진행되어 왔다. GWR모형은 국부적인 차원의 회귀계수를 추정하는 가중 최소자승법(Weighted least squares, 이하 WLS)을 적용한 모형으로 변수들 간의 관계를 나타내는 회귀계수가 지역별로 서로 다르다는 것을 전제로 하여 해당 지역별로 선형회귀모형을 추정하는 것을 말한다. 즉, 종속변수와 설명변수 간의 관계가 모든 공간에서 동일한



것이 아니기 때문에 설명변수가 일정하게 변화하더라도 그것에 영향을 받는 종속변수의 크기는 공간적 위치에 따라 달라진다는 것을 의미한다. 그리고 GWR모형에는 공간적 이질성으로 인하여 발생하는 이분산성을 해결하기 위하여 공간거리 가중치를 적용하게 된다.

이와 관련된 선행연구들을 살펴보면, Zhao and Park(2004)은 차로수, 고용자의 지역 접근성, 관측지점과 인접한 지역(Buffer area) 내 인구수와 고용자수, 고속도로와의 직접적인 접근성과 같이 5가지의 설명변수를 적용한 GWR모형을 제안하였다. 공간거리 가중치는 bi-square함수와 가우시안 함수(Gaussian function)를 적용하여 산출하였으며, 동일한 설명변수를 이용한 전역적인 다중회귀모형을 비교모형으로 선정하고 GWR모형과 비교·분석하였다. 그 결과 전역적인 다중회귀모형보다 GWR모형의 추정 결과가 더 우수한 것으로 분석되었으며, 이는 GWR모형에 적용된 설명변수들의 지역별 공간 특성이 반영된 결과라고 판단할 수 있다. 또한 공간거리 가중치는 bi-square함수를 적용한 경우보다 가우시안 함수를 적용한 경우가 더 우수하게 나타났다. 하지만 가우시안 함수를 적용한 GWR모형의 평균 절대 백분위 오차(Mean absolute percent error, 이하 MAPE)가 20% 이하인 대상 지점들의 누적 비율이 약 55%에 불과한 것으로 나타났다. Selby and Kockelman(2013)은 미국 텍사스 주 내 미 관측 도로구간의 AADT를 추정하기 위하여 GWR모형을 제안하였다. 설명변수는 인접한 관측지점의 AADT, 제한속도, 차로수, 접근성을 적용하였으며, 그 결과 전역적인 다중회귀모형보다 공간의 이질성을 고려하는 GWR모형의 추정오차가 더 낮은 것으로 분석되었다. 하지만 GWR모형의 MDAPE가 15%이하인 대상 지점들의 누적비율이 약 35%에 불과한 것으로 나타났다.

최근 들어 선행연구들에서는 GWR모형과 더불어 크리깅모형과 같이 공간보간 모형을 많이 적용하고 있다. 여기서, 크리깅모형은 미지의 지점에서 관측 값을 이미 알고 있는 주변 값들의 가중선형 조합으로 해당 미지의 값을 추정하는 방법을 말한다. 크리깅모형의 가중치는 일반적으로

예측오차를 최소로 하면서 추정식이 편향되지 않도록 결정해야 한다. 이를 위하여 공간적 상관관계를 나타내는 베리오그램(Variogram)<sup>5)</sup>을 통상적으로 적용한다(하정아, 2013).

Eom et al.(2006)은 미국 노스캐롤라이나 주 웨이크 카운티(Wake county)의 미관측 도로구간을 대상으로 Box-Cox 변환을 이용한 일반크리깅모형을 적용하였다. 모형의 가중치 적용을 위한 공간 상관거리는 가우시안(Gaussian)모형, 지수(Exponential)모형, 구형(Spherical)모형과 같이 3가지의 베리오그램 모형을 이용하여 산출하였다. 그리고 통상적인 OLS, WLS, 최대우도법(Maximum likelihood, 이하 ML), 제한최대우도법(Restricted maximum likelihood, 이하 REML)과 같이 4가지의 회귀계수 추정방법을 적용하였다. 그 결과, 기존 전역의 회귀모형보다 크리깅모형의 추정력이 더 우수한 것으로 나타났다. 크리깅모형 중 REML과 WLS를 적용한 모형의 추정력이 대체로 우수하며, WLS보다 REML를 적용한 모형의 추정력이 조금 더 우수한 것으로 나타났다. 또한 주어진 대상구간으로부터 인접한 관측 값들의 밀도가 높은 도시지역일수록 AADT의 추정력이 더 우수한 것으로 분석되었다.

Wang and Kockelman(2009)은 미국 텍사스 주의 고속도로 교통량 조사 지점을 대상으로 ArcGIS 기반의 범용크리깅(Ordinary kriging)모형을 적용하였다. 그 결과, 중앙 백분위 오차(Median percent error, 이하 MDPE)가 평균 31%로 분석되었으며, 실제 관측 값 대비 MDPE가 31%가 넘는 대상 지점들이 절반 이상이 되는 것으로 나타났다.

하정아(2013)는 미관측 지점 또는 자료 불량 지점의 AADT를 추정하기 위하여 주어진 대상구간과 인접한 관측지점의 교통량 조사 자료를 이

---

5) 베리오그램은 일정한 거리에 있는 자료들의 유사성을 나타내는 척도로 일정 거리  $h$ 만큼 떨어진 두 자료들 간의 차이를 제공한 것의 기대 값이다. 따라서, 거리가 가까우면 그 값들이 비슷하므로 베리오그램은 일반적으로 작게 나타나고 거리가 멀어질수록 그 값이 크게 나타나는 것이 일반적 경향이다. 여기서  $h$ 를 지연거리 또는 분리거리라 하며 두 자료 간에 떨어져 있는 거리를 말한다.(자료출처: 최종근(2002), “공간정보 모델링”, 구미서관.)

용하는 공간보간 모형을 적용하였다. 여기서, 적용된 공간보간 모형은 범용크리깅, 일반크리깅, 설명변수를 추가한 일반크리깅(External universal kriging), 범용-공동크리깅(Co-kriging using ordinary kriging), 일반-공동크리깅(Co-kriging using universal kriging), 설명변수를 추가한 일반-공동크리깅(Co-kriging using external universal kriging)과 같이 총 6가지 형태의 크리깅모형을 적용하였다. 공간 상관거리를 산출하기 위한 베리오그램 모형은 지수모형, 구형모형, 가우스모형을 각각 적용하였다. 크리깅모형에 추가된 설명변수는 도로특성 변수(차로수), 지역특성 변수(인구, 주택수, 자동차등록대수, 고용율), 교통특성 변수(트럭비율)를 적용하였다. 그리고 비교모형으로는 기존 TMG의 보정계수 적용방법을 적용하였으며, 추정 결과는 전년도 관측교통량을 이차변수로 하여 설명변수로 추가한 일반-공동크리깅모형이 가장 우수한 것으로 나타났다. 하지만 주변수(현재년도 관측교통량) 하나로만 크리깅모형을 적용할 경우 오차가 상당히 큰 것으로 나타났으며, 이와 같이 이차변수가 없으면 모형의 적용에 한계가 발생하는 것으로 나타났다.

Selby and Kockelman(2013)은 미관측 도로구간의 AADT 추정방법으로 GWR모형과 일반크리깅모형을 각각 적용하였다. 여기서, 일반크리깅모형의 공간거리는 유클리디안거리(Euclidean distance)와 네트워크 거리(Network distance)를 이용하여 서로 비교하였다. 유클리디안거리는 ArcGIS(9.3) 프로그램의 노드 좌표를 이용하여 산출하였으며, 네트워크 거리는 TransCAD 프로그램을 이용하여 통행배정 후 산출된 최단경로거리(Shortest path distance)를 적용하였다. 두 모형의 설명변수는 인접한 관측지점의 AADT, 제한속도, 차로수, 접근성을 공통적으로 적용하였으며, 그 결과 전체적으로 전역의 회귀모형보다 공간의 이질성을 고려하는 GWR모형과 일반크리깅모형의 추정오차가 더 낮은 것으로 분석되었다. 그리고 GWR모형 보다는 일반크리깅모형의 추정력이 더 우수한 것으로 나타났다. 하지만 일반크리깅모형의 MDAPE가 15%이하인 대상 지점들의 누적비율이 약 50%에 불과한 것으로 나타났다.

Shamo et al.(2014)은 미국 워싱턴 주 내 미관측 고속도로 구간의 AADT 추정을 위하여 단순크리깅(Simple kriging), 범용크리깅, 일반크리깅과 같이 3가지 형태의 크리깅모형을 적용하였다. 베리오그램 모형은 선형모형(Linear model), 너깃 모형(Nugget effect), 지수모형, 구형모형, 가우스모형과 같이 5가지 모형을 각각 적용하였다. 통계적 평가지표는 평균 오차(Average error), 평균 제곱근 오차(Root mean square error), 평균 표준 오차(Mean standardized error), 평균 제곱근 표준 오차(Root mean square standardized error)를 적용하였다. 각 모형별 추정 결과, 2008년 교통량 자료를 이용할 경우에는 지수모형을 베리오그램 모형으로 적용한 범용-일반크리깅 결합모형이 가장 우수한 것으로 나타났다. 반면 2009년과 2010년 교통량 자료를 이용할 경우에는 구형모형을 베리오그램 모형으로 적용한 범용-단순크리깅 결합모형이 가장 우수한 것으로 나타났다.

지금까지 살펴본 선행연구들은 교통량 조사가 수행되고 있지 않는 미관측 도로구간의 AADT 추정모형에 관한 연구들이다. 먼저, 상시조사 교통량의 결측값 보정과 수시조사 교통량을 이용한 AADT 추정 관련 선행연구들에서는 최근 IT기술의 발달로 인하여 대용량 이력자료의 수집 및 저장이 가능해짐으로서 기존 통계적 기반의 모수 모형뿐만 아니라 데이터 기반의 비모수 모형을 적용한 연구들도 활발히 진행되고 있다. 하지만 미관측 도로구간의 AADT 추정 관련 연구들에서는 여전히 특정 지역 또는 구간에서 거시적 단위의 입력 자료를 이용하는 모수 모형만을 적용하고 있으며, 비모수 모형을 적용한 연구는 전무한 실정이다. 또한 기존 AADT 추정모형에서 이용하고 있는 설명변수는 지역 단위의 거시적인 일반 통계자료를 이용하거나, 차로수, 연장, 제한속도 등과 같이 GIS의 기본적인 링크정보만을 제한적으로 이용하고 있어 개별 도로구간의 미시적인 교통 특성을 제대로 반영하지 못하고 있는 실정이다. 그리고 최근 빅데이터 활용이라는 측면에서 화두가 되고 있는 차량용 내비게이션에서 수집되고 있는 개별 차량의 GPS 통행 자료를 AADT 추정모형의 설명변수로 활용한 연구도 전무한 실정이다.

### 제3절 선행연구의 한계 및 문제점

AADT 추정모형과 관련된 선행연구는 상시조사 교통량의 결측값 보정과 수시조사 교통량을 이용한 AADT 추정과 같이 교통량 조사지점만을 대상으로 한 관련 연구들과 상시 또는 수시조사 지점을 제외한 미관측 도로구간의 AADT 추정과 관련된 다양한 연구들이 진행되어 왔다. 앞서 살펴본 선행연구들의 고찰 내용을 바탕으로 각 연구 분야별로 한계 및 문제점을 도출하고자 한다.

#### 1. 상시조사 교통량의 결측값 보정

상시조사 교통량의 결측값 보정모형은 크게 모수 모형과 비모수 모형으로 구분할 수 있다. 모수 모형에는 선형회귀모형(Rubin, 1987; Chen, 2003; Zhong, 2004), ARIMA(Chandra, 2004), 칼만 필터(SI. Dailey, 1993), EM과 DA모형(Dempster, 1977; Tanner, 1987; Schafer, 1997; Ni, 2005), 마코브 체인 몬테카를로(Schafer, 1997) 등이 적용되었으며, 비모수 모형에는 GA와 NN모형(Zhong, 2004), KNN-NPR모형(Liu, 2008; Chang, 2012(a)) 등이 적용되었다.

과거 자료의 수집 및 저장기술의 한계로 인하여 제한된 입력 자료를 이용하게 됨으로서 선형회귀모형, ARIMA, 칼만 필터 등과 같이 특정 통계모형의 파라미터에 의존하는 모수 모형들이 주로 적용되었으나, 최근 들어 IT기술의 발달로 인하여 시스템 기반의 대용량 이력자료를 활용할 수 있게 됨으로서 GA와 NN모형, KNN-NPR모형 등과 같이 데이터 기반의 비모수 모형을 적용한 연구들도 활발히 진행되어왔다. 즉, 교통량, 속도, 밀도와 같이 교통변수의 진화 행태는 시·공간적으로 다양하게 변화하는 동적인 혼재 상태이며, 최근 연구의 경향은 확률적 상태이론 보다는 혼돈 또는 혼재 상태이론을 따르고 있다(Altman, 1992; Vlahogianni et al., 2005 등). 이러한 혼재된 교통류 상태에서 통계적 기반의 모수 모형보다는 KNN 기법 등과 같이 데이터 기반의 비모수 모형

을 적용하는 것이 더 우수한 예측력을 보이는 것으로 나타났다(Devijver, 1982; Karlsson and Yakowitz, 1987 등)

위의 선행연구들은 상시조사 지점의 기계조사장비에서 발생하는 해당 수집시간대의 결측값을 보정하는 방법에 관한 연구들이므로 상시조사 지점 이외의 수시조사 교통량을 이용한 AADT 추정과 교통량 조사지점을 제외한 미관측 도로구간의 AADT 추정 문제가 발생하게 된다.

## 2. 수시조사 교통량을 이용한 AADT 추정

수시조사 교통량을 이용한 AADT 추정모형은 앞서 설명한 상시조사 지점과 같이 크게 모수 모형과 비모수 모형으로 구분할 수 있다. 모수 모형에는 통상적인 보정계수 적용방법(TMG), 기존 TMG 방법을 개선하는 연구(백남철, 2002; 임성한, 2004; 하정아, 2012), 다중회귀모형(Faghri, 1994; Lingras, 1996), 항공사진 이용방법(McCord, 2003; Jiang, 2006) 등이 적용되었으며, 비모수 모형에는 클러스터링 기법(Sharma, 1986; Flaherty, 1993; Faghri, 1994; Lingras, 1995; Li, 2008; Gecchele, 2012; Rossi, 2012; Gastaldi, 2013; Rossi, 2014), NN모형(Faghri, 1994; Lingras, 1995; Lingras, 1996; Sharma, 1999; Sharma, 2000; Sharma, 2001), NN-GA모형(Lingras, 2001) 등이 적용되었다.

수시조사 지점에서도 상시조사 지점과 같이 과거 자료의 수집 및 저장 기술의 한계로 인하여 제한된 입력 자료를 이용하게 됨으로서 통상적인 보정계수 적용방법, 기존 보정계수 적용방법의 개선, 다중회귀모형, 항공사진 이용방법 등과 같이 특정 통계모형의 파라미터에 의존하는 모수 모형들이 주로 적용되었으나, 최근 들어 IT기술의 발달로 인하여 시스템 기반의 대용량 이력자료를 활용할 수 있게 됨으로서 클러스터링 기법, NN모형, NN-GA모형 등과 같은 데이터 기반의 비모수 모형을 적용한 연구도 활발히 진행되어왔다.

또한 선행연구들에서 활용되고 있는 공간 자료는 실제로 지리통계자료가 활용되고는 있지만 해당 자료의 공간적인 상관성을 고려하는 연구는

미미한 실정이었다. 여기서, 일반적으로 이용되고 있는 공간 자료는 크게 지리통계자료, 격자자료, 공간패턴자료와 같이 3가지의 유형으로 분류되며, 선행연구들에서 이용되고 있는 도로교통량 조사 자료는 공간상의 고정된 위치에서 연속적으로 얻은 측정값이므로 지리통계자료에 해당된다. 그리고 통상적인 TGM방법은 보정계수 적용 시 어느 지점의 어떤 보정계수를 적용할지에 대하여 명확한 기준이 제시되어 있지 않아 AADT 추정의 한계를 가지는 것으로 나타났다.

위의 선행연구들은 기본적으로 대상 수시조사 지점의 조사된 교통량 자료를 기반으로 하는 AADT 추정모형을 적용하였으므로 조사된 교통량 자료가 존재하지 않는 미관측 도로구간의 AADT를 추정하기 위해서는 모형 적용의 한계가 발생하게 된다.

### 3. 미관측 도로구간의 AADT 추정

관련 선행연구들에서 적용된 추정모형은 회귀모형과 공간보간 모형으로 구분할 수 있다. 회귀모형에는 전역적인 단순회귀모형(Zhong and Hanson 2009)과 다중회귀모형(Mohamad et al. 1998; Xia et al. 1999; Zhao and Chung 2001; Anderson et al. 2006; Michael Lowry 2014; Yang et al. 2014), 국부적인 WLS기반 GWR모형(Zhao and Park 2004; Selby and Kockelman 2013)과 크리깅모형(Eom et al. 2006, Wang and Kockelman 2009; Selby and Kockelman 2013; 하정아 2013; Shamo et al. 2014)과 같은 공간보간 모형이 적용되었다.

최근 교통량 조사방식의 변화와 더불어 GPS 차량 통행 자료와 같이 미시적인 대용량 자료를 활용할 수 있는 시점에서 현재 미관측 도로구간의 AADT 추정모형은 대부분 지역 단위의 사회·경제적 지표 등과 같이 거시적인 입력 자료를 이용하는 통계적 기반의 모수 모형에만 의존하고 있는 실정이다. 즉, 입력 자료의 환경은 지속적으로 변화하고 있지만 AADT 추정방법론은 여전히 과거에 머물러 있다는 것이다. 또한 앞서 살펴본 상시조사 교통량의 결측값 보정과 수시조사 교통량을 이용한

AADT 추정과 관련된 선행연구들에서는 통계적 기반의 모수 모형뿐만 아니라 데이터 기반의 비모수 모형을 적용한 연구들도 활발히 진행되고 있다. 하지만, 미관측 도로구간의 AADT 추정과 관련된 선행연구들에서는 비모수 모형을 적용한 연구는 전무한 실정이다.

먼저, 인접한 관측교통량 조사자료, 일반적인 운전자 및 도로구간의 특성, 사회·경제적 지표 등과 같이 일반적인 통계자료를 이용하는 기존 전역적인 회귀모형들(Mohamad et al. 1998; Xia et al. 1999; Zhao and Chung 2001; Anderson et al. 2006; Yang et al. 2014)은 Michael Lowry(2014)가 지적한 바와 같이 개별 도로구간의 특성을 나타내는 차로수, 제한속도, 주변토지이용 등과 같은 설명변수는 소규모 지역에서 도로의 형태에 따라 모두 균일하게 적용되므로 도로구간별 관측교통량의 변동성을 적절하게 설명할 수가 없다. 또한, 사회·경제적 지표와 같이 지역 단위의 거시적인 설명변수와 개별 도로구간 단위의 미시적인 설명변수가 함께 적용하다보니 하나의 지역 내 도로구간들에 대하여 거시적인 설명변수가 모두 동일하게 적용되는 한계도 발생하게 된다.

위에서 설명한 거시적 단위의 일반적인 통계자료가 아닌 도로구간별 미시적 단위의 설명변수(Zhong and Hanson 2009)와 분석가가 새로운 설명변수를 개발(Michael Lowry 2014)하여 회귀모형에 적용한 선행연구는 다음과 같다.

Zhong and Hanson(2009)은 TransCAD의 TDMs를 이용하여 도로구간별로 배정된 통행량을 설명변수로 적용하였다. 하지만 이 설명변수는 실제 관측 값이 아닌 모형에 의해 산출된 값으로 입력 자료에는 적용된 통계모형의 한계를 포함하고 있으며, 대상 도로구간들의 평균 추정오차가 평균 40%이하인 것으로 분석되어 적용모형에 대한 추정오차의 정확도 문제도 발생하였다. Michael Lowry(2014)는 위상공간의 metric 형태인 ODC라는 새로운 설명변수를 개발하여 회귀모형에 적용하였다. 이 연구에서도 Zhong and Hanson(2009)의 연구와 동일하게 기존 교통수요모형의 최단경로알고리즘(Shortest path algorithm)을 이용하여 도로구간별 ODC를 산출하였다. 이는 실제 관측 값이 아닌 모형에 의하여 산출된 값



으로 적용된 수용모형의 한계가 반영된 지표라고 볼 수 있다. 또한 전체 대상구간의 MDAPE가 약 12~75%로 분석되어 적용모형에 대한 추정오차가 허용할 수준의 오차인 지에 대한 의문점도 발생하였다.

지금까지 설명한 선형회귀모형들은 전역적인 선형회귀모형 형태로서 설명변수가 종속변수에 미치는 영향이 공간상에서 일정하지 않는 공간의 이질성 문제를 고려하지 못하였다. 이러한 문제를 다루는 대표적인 모형으로 국부적인 선형회귀모형 형태인 WLS기반 GWR모형을 적용한 연구들(Zhao and Park 2004; Selby and Kockelman 2013)이 진행되었다. 먼저 Zhao and Park(2004)은 기존 전역의 선형회귀모형을 적용한 연구들과 동일하게 지역(Buffer area) 내 인구수와 고용자수라는 거시적인 설명변수를 그대로 적용하였다. 가중치 함수 중 가우시안 함수를 적용한 GWR모형이 가장 우수한 추정력을 보이는 것으로 분석되었으나, MAPE가 20% 이하인 대상 지점들의 누적 비율이 약 55%에 불과한 것으로 나타나 적용모형에 대한 추정오차의 정확도 문제가 발생하였다. 그리고 Selby and Kockelman(2013)에서도 기존 전역의 선형회귀모형을 적용한 연구들과 동일하게 개별 도로구간의 특성을 나타내는 변수로 차로수, 제한속도와 같이 GIS의 링크정보에 포함되어 있는 단편적인 정보만을 이용하였다. GWR모형을 적용한 결과, MDAPE가 15%이하인 대상 지점들의 누적비율이 약 35%에 불과한 것으로 나타나 적용모형에 대한 추정오차의 정확도 문제가 발생하였다.

앞서 설명한 GWR모형과 더불어 공간보간 모형의 형태인 크리깅모형을 적용한 연구들(Eom et al. 2006, Wang and Kockelman 2009; Selby and Kockelman 2013; 하정아 2013; Shamo et al. 2014)도 꾸준히 진행되어 왔다. 먼저, 크리깅모형의 경우는 공통적으로 공간상관관계를 분석하기 위하여 지수모형, 구형모형, 가우스모형 등과 같이 다양한 베리오그램 모형들 중 가장 적합한 모형을 선정하기 위하여 각 모형별 공간상관 거리에 대한 최적화를 수행해야 한다. 즉, 특정 지역 또는 일부 구간을 대상으로 크리깅모형을 구축할 경우에는 해당 모형의 적용 문제가 발생

하지 않지만, 이를 확장하여 전국 개별 도로구간을 대상으로 해당 모형을 구축할 경우에는 각 구간별로 최적의 베리오그램 모형을 선정하기 위한 최적화 과정을 거쳐야 하는 한계가 발생한다. 그리고 크리깅모형에 적용하고 있는 공간거리는 공통적으로 유클리디안거리와 네트워크 거리를 적용하였으며, 이 중 네트워크 거리는 TransCAD 프로그램을 이용하여 통행배정을 수행한 후 산출된 최단경로거리를 적용하였다. 즉, 실제 관측 값이 아닌 수요모형에 의해 산출된 네트워크 거리를 적용함으로써 입력 자료에 적용된 수요모형의 한계가 포함되어 있다. 또한 이 두 가지의 공간거리를 적용한 각 모형별 추정오차의 차이가 없는 것도 의문이었다. 이는 실제 관측된 네트워크 거리가 아닌 모형의 의하여 산출된 네트워크 거리를 이용함으로써 발생하는 적용모형의 한계라고 판단된다.

크리깅모형을 적용한 선행연구들의 추정결과를 살펴보면, Wang and Kockelman(2009)은 실제 값 대비 MDPE가 31%가 넘는 대상 지점들이 절반 이상이 되는 것으로 나타났으며, Selby and Kockelman(2013)은 MDAPE가 15%이하인 대상 지점들의 누적비율이 약 50%에 불과한 것으로 나타나 GWR모형을 적용한 연구들과 마찬가지로 적용모형에 대한 추정오차의 정확도 문제가 발생하였다. 하정아(2013)는 만약 주 변수(현재년도 관측교통량) 하나로만 추정할 경우에는 추정오차가 수용할 수준에 도달하지 못하나, 2차 변수(전년도 관측교통량, 사회·경제적 지표)를 고려할 경우에는 추정오차가 현격히 감소한다고 나타났다. 이럴 경우 전년도 관측교통량이 존재하지 않는 신규 조사 지점에 대한 입력 자료의 구축 문제가 발생하며, 전역의 선형회귀모형을 적용한 선행연구들과 동일하게 여전히 지역 단위의 거시적인 사회·경제적 지표를 설명변수로 적용하고 있다.

마지막으로 대상구간과 인접한 공간 자료의 개수를 최적화하는 문제에 대하여 살펴보면, 먼저 기존 전역의 선형회귀모형은 공간의 이질적인 문제를 다루고 있지 않기 때문에 연구자가 분석하고자 하는 특정 지역 내 입력 자료만을 이용하게 된다. 따라서 해당 모형은 특정 지역이 아닌 다른 지역에서도 적용이 가능한 일반화 모형으로 개발하기에는 한계가 있

으며, 입력 자료에 대한 표본 수의 최적화 문제도 발생하게 된다. 반면 크리깅모형의 경우는 공간의 이질적인 문제를 다루기 때문에 특정지역이 아닌 지역별 특성을 고려한 국부적인 추정모형으로 적용이 가능하였다. 하지만 해당 모형은 공간 자료에 대한 적용 개수의 최적화를 위하여 지수모형, 구형모형, 가우스모형 등과 같이 다양한 베리오그램 모형들 중 최적의 모형을 선정해야 하는 과정을 포함하고 있다. 이럴 경우 만약 전국 단위의 개별 도로구간을 대상으로 추정모형을 개발한다면, 개별 도로구간 단위로 각 베리오그램 모형들을 최적화해야 하는 문제와 각 모형별로 적용되는 파라미터의 최적화 문제가 발생하게 된다.

#### 4. 한계 및 문제점 종합

본 연구와 관련된 미관측 도로구간의 AADT 추정 관련 선행연구들의 고찰결과를 종합하면 <표 2-4>와 같다. 여기서, 적용된 추정모형은 모두 모수 모형의 형태로 회귀모형과 크리깅모형으로 구분할 수 있으며, 적용모형별 설명변수, 공간의 이질성, 공간거리 가중치, 파라미터(회귀계수, 관측값 개수) 최적화 문제에 대하여 차이점을 설명하고 있다.

<표 2-4> 미관측 도로구간의 AADT 추정 관련 선행연구 고찰결과 종합

구분			설명변수	공간의 이질성	공간거리 가중치	파라미터 최적화	
						회귀계수	관측값개수( $k$ )
모수 모형	회귀 모형	단순	통행배정량	×	×	통상적인 OLS	×
		다중	일반통계자료, 접근성, ODC 등	×	×	통상적인 OLS	×
		GWR모형	일반통계자료 등	○	$ed, pd$	WLS	×
	크리깅 모형	주변수	인접 관측 AADT	○	$ed$	WLS or REML	베리오그램
		2차변수 고려	일반통계자료, 전년도 관측 AADT 등	○	$ed$	WLS or REML	베리오그램

주:  $ed$ 는 유클리디안거리,  $pd$ 는 최단경로거리임.

앞서 살펴본 관련 선행연구들의 고찰내용을 바탕으로 미관측 도로구간에 대한 기존 AADT 추정모형들의 한계 및 문제점을 종합해보면 크게 2가지로 설명할 수가 있다. 첫째, 기존 추정모형들은 최근 IT기술의 발달로 인하여 대용량의 이력자료를 활용할 수 있는 시점에서 여전히 통계적 기반의 모수 모형에만 의존하고 있는 실정이며, 데이터 기반의 비모수 모형을 적용한 연구는 전무한 실정이다. 둘째, 기존의 일반통계자료 또는 모형에 의해서 산출된 값이 아닌 빅데이터의 활용이라는 측면에서 실제 관측 값인 GPS 차량 통행 자료를 추정모형의 예측변수로 활용한 연구도 전무한 실정이다.

세부적으로 기존 추정모형들의 한계 및 문제점에 대하여 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 미관측 도로구간의 AADT 추정모형에서 가장 중요한 것은 추정오차에 대한 정확도 문제이다. 즉, 공간적 범위 내 도로구간별 관측교통량 대비 추정교통량의 오차가 요구하는 허용오차 수준에 만족하는 지에 대한 문제이다. 하지만 대부분의 선행연구들에서 추정오차가 요구하는 허용오차 수준을 만족하지 못하고 있는 실정이다.

둘째, 과거 자료의 수집 및 저장기술의 한계로 인하여 선행연구들은 대부분 특정 지역 내 주요 도로를 대상으로만 추정모형을 개발하였다. 즉, 주요 도로를 제외한 나머지 비 주요도로에 대한 개발모형의 적용 문제가 발생하게 되며, 향후 분석 네트워크를 전국으로 확장할 경우에도 일반화된 모형으로서 적용이 어려울 것으로 판단된다.

셋째, 기존 추정모형들은 설명변수로 대부분 사회·경제적 지표 등과 같은 지역 단위의 거시적인 설명변수를 이용하고 있어 개별 도로구간의 미시적인 교통량 특성을 제대로 반영하지 못하고 있다. 일부 선행연구들에서 개별 도로구간의 특성변수로 차로수, 연장, 제한속도 등을 이용하고 있으나, 모두 GIS의 링크정보에서 기본적으로 제공하는 단편적인 자료만을 이용하고 있는 실정이다. 또한 분석가가 새롭게 개발한 설명변수들도 모두 특정 통계모형에 의하여 산출된 값을 이용하고 있어 해당 변수의

산출 값에는 적용된 통계모형의 한계가 반영되어 있는 실정이다. 즉, 특정 통계모형의 의하여 산출된 변수가 아닌 실제 관측된 값으로 산출한 변수의 적용이 필요한 시점이다.

넷째, 선행연구들에서는 공간의 상관성을 고려하지 않은 전역적인 (단순 또는 다중)회귀모형보다는 공간의 상관성을 고려하는 국부적인 GWR 모형 또는 크리깅모형의 추정력이 우수한 것으로 나타났다. 이처럼 본 개발모형의 형태도 공간의 상관성을 고려한 국부적인 추정모형으로 개발하고자 한다. 다만 선행연구들과 같이 지역 단위 기반의 공간적 이질성이 아닌 개별 도로구간 단위의 미시적인 특성을 고려할 수 있는 추정모형으로 개발하고자 한다.

다섯째, 기존 추정모형들은 대부분 전문가 의존적이며, 방법론이 어렵고 복잡한 통계모형만을 이용하고 있어 향후 시스템의 내부모듈로서 탑재가 어려울 것으로 판단된다. 즉, 시스템을 유지 및 관리하는 현장의 운영요원들은 운영 시스템과 데이터베이스 관련하여 풍부한 경험과 지식을 가지고 있는 반면, 적용되는 복잡한 추정모형에 대한 이해는 부족한 실정이다. 이럴 경우 운영자가 시스템을 효율적으로 운영하는 데에 어려움이 발생하게 되므로 모형의 일반화, 모형의 구조변경, 전국 단위의 네트워크 적용 가능성, 파라미터 자동정산, 모형의 연산 수행속도 등을 충분히 고려해야 한다. 또한 기존 (단순 또는 다중)회귀모형과 GWR모형의 경우는 지역 단위 기반의 일반적인 통계자료를 적용하고 있어 향후 시스템 상에서 개별 도로구간 단위로의 입력 자료 구축문제가 발생하며, 크리깅모형의 경우에는 전국 개별 도로구간별로 베리오그램 모형 및 공간상관거리에 대한 최적화 문제가 발생한다.

마지막으로 GWR모형과 크리깅모형의 공간 가중치를 위하여 적용하고 있는 공간 거리는 유클리디안거리와 네트워크거리를 이용하고 있다. 이중 네트워크거리는 실제 관측 값이 아닌 교통수요모형에서 산출한 최단 경로거리를 이용하고 있어 산출된 값에는 적용된 통계모형의 한계가 반영되어 있는 실정이다.

## 제4절 본 연구의 차별성 및 기여

### 1. 본 연구의 차별성

최근 IT기술의 발달로 인하여 과거 고정식에서 현재 이동식 조사수집 체계로 변화하고 있는 시점에서 미관측 도로구간의 AADT 추정 관련 선행연구들은 여전히 특정 통계모형의 파라미터에 의존하는 모수 모형만을 적용하고 있는 실정이며, 대용량 이력자료의 활용 및 모집단의 특정 분포함수를 가정하지 않는 비모수 모형을 적용한 연구는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 빅데이터의 활용이라는 측면에서 GPS 차량통행 자료를 활용하여 데이터 기반의 비모수 모형을 적용한 AADT 추정모형으로 개발하고자 한다.

본 개발모형은 과거 자료의 수집 및 저장기술의 한계로 인하여 통계적 기반의 모수 모형만을 적용한 기존 AADT 추정모형의 한계를 극복하고자 하며, 이를 위한 본 연구의 고려사항은 다음과 같다.

첫째, 대부분 선행연구들의 추정오차가 요구하는 허용오차 수준을 만족하지 못하고 있는 실정이다. 하지만 본 연구에서는 공간적 범위 내 도로구간별 관측교통량 대비 추정교통량의 오차가 요구하는 허용오차 수준을 만족하도록 개발하고자 한다.

둘째, 선행연구들은 대부분 특정 지역 내 주요 도로를 대상으로만 추정모형이 개발되었으며, 주요 도로를 제외한 나머지 비 주요도로에 대한 개발모형의 적용 문제가 발생하였다. 따라서 본 연구에서는 특정 지역 또는 특정 도로에 특화된 추정모형이 아닌 전국 단위의 분석 네트워크에 적용이 가능하도록 일반화된 추정모형으로 개발하고자 한다.

셋째, 선행연구들에서 적용된 추정모형들은 대부분 지역 단위의 거시적인 설명변수를 이용하고 있어 개별 도로구간의 미시적인 교통 특성을 제대로 반영하지 못하고 있는 실정이다. 일부 개별 도로구간의 특성변수로 차로수, 연장, 제한속도 등을 이용하고 있으나, 모두 GIS의 링크정보에서 기본적으로 제공하는 단편적인 자료만을 이용하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 개별 도로구간의 다양한 교통 특성을 고려할 수 있는 차량용 내비게이션에서 수집되고 있는 GPS 차량 통행 자료를 본 추정모형의 예측변수로 새롭게 적용하고자 한다.

넷째, 선행연구들의 추정결과를 살펴보면 전역적인 (단순 또는 다중)회귀모형보다는 국부적인 GWR모형 또는 크리깅모형의 추정력이 우수한 것으로 나타나 본 개발모형의 형태도 공간의 상관성을 고려할 수 있는 국부적인 추정모형으로 개발하되, 지역 단위의 공간 이질성을 고려하는 선행연구들과는 다르게 개별 도로구간의 미시적인 특성을 고려할 수 있는 추정모형으로 개발하고자 한다.

다섯째, 기존 추정모형들은 대부분 전문가 의존적이며, 방법론이 어렵고 복잡한 통계모형만을 적용하고 있다. 또한 (단순 또는 다중)회귀모형, GWR모형의 경우는 대부분 지역 단위의 거시적인 사회·경제적 지표를 적용하고 있으므로 향후 시스템 개발 시, 전국 도로구간을 대상으로 개별 도로구간 단위의 입력 자료로 구축할 경우에 적용의 문제가 발생하게 된다. 마찬가지로 크리깅모형의 경우도 개별 도로구간 단위로 베리오그램 모형 및 공간 상관거리의 최적화 문제가 발생하게 된다. 이러한 문제 때문에 기존 추정모형들은 향후 시스템의 내부 모듈로서 모형의 탑재가 어려울 것으로 판단된다. 따라서 본 개발모형은 간편하지만 robust한 추정모형으로 개발하도록 하며, 향후 시스템 내 개발모형의 탑재가 용이하도록 모형의 일반화, 모형의 구조변경, 전국 단위의 네트워크 적용 가능성, 파라미터 자동정산, 모형의 연산 수행속도 등을 충분히 고려하여 개발하고자 한다.

마지막으로 GWR모형과 크리깅모형에 적용되고 있는 공간 거리 중 네트워크 거리는 실제 관측 값이 아니라 교통수요모형에 의해서 산출한 최단경로거리를 이용하고 있다. 따라서 본 연구에서는 기존의 통계모형에 의해 산출된 값이 아닌 실제 관측 값으로 GPS 차량 통행 자료에서 산출한 공간 거리를 적용하고자 한다.

## 2. 본 연구의 기여

앞서 설명한 선행연구와의 차별성을 토대로 본 연구의 기여를 시대적인 측면, 학술적인 측면, 그리고 실무적인 측면으로 구분하여 설명한다.

첫째, 시대적인 측면으로는 최근 IT기술의 발전으로 인하여 활용할 수 있는 데이터가 급격하게 변화되고 있다. 즉, 기존의 루프검지기, 영상검지기 등과 같이 고정식 조사수집체계에서 차량용 내비게이션 등과 같이 개별 차량기반의 프로브 수집 및 저장 방식으로 확장되었으며, 공간적 범위는 전국의 모든 도로를 대상으로 하고 있다. 이는 일반적인 통계자료와 특정 통계모형에 의해서 산출된 값을 설명변수로 적용하던 기존 모수 모형 기반의 AADT 추정모형에서 현재 데이터의 수집 및 저장 환경에 부합되도록 다른 형태의 추정모형으로 진화해야 함을 의미한다. 즉, 빅데이터의 활용이라는 측면에서 실제 관측 값인 GPS 차량 통행 자료를 추정모형의 입력 자료로 활용함으로써 실제 현장의 도로구간별 교통상태를 보다 더 잘 반영할 수 있도록 개발해야 한다.

둘째, 학술적인 측면으로는 관련 선행연구들에서 적용되고 있는 통계적 기반의 모수 모형이 아니라 앞서 설명한 시대적 측면에 부합되도록 데이터 기반의 비모수 모형을 우선적으로 적용해보고자 한다. 즉, 기존 특정 통계모형의 고정적인 파라미터에 의존하는 방법이 아니라 실제 데이터에서 직접적으로 산출되는 가변적인 파라미터를 적용하는 방법을 적용해보고자 하며, 이는 향후 관련 연구 분야에 있어서 새로운 문제해결 방법을 형성하는 계기가 될 것으로 판단된다.

마지막으로 실무적 측면으로는 GPS 차량 통행 자료에 대한 이력자료의 활용방안을 제시하고자 한다. 과거에는 자료의 수집 및 저장에 대한 기술적 한계로 인하여 대용량 이력자료의 활용방안을 제대로 찾지 못하고 있는 실정이었다. 따라서 본 연구에서는 전국 단위의 개별 도로구간 단위로 수집 및 저장되고 있는 대용량 이력자료의 활용방안을 위한 기본적인 방법론을 제공하고자 한다.



## 제3장 GPS 차량 통행 자료 기반 AADT 추정모형 개발

### 제1절 모형의 개발과정 정립

#### 1. 모형의 개발방향 설정

본 연구에서 개발하는 모형은 교통량 조사가 수행되고 있지 않는 미관측 도로구간의 AADT를 추정할 수 있는 모형을 개발하는 것이다. 이와 관련된 선행연구들에서는 모두 자료 수집 및 저장 기술의 한계로 인하여 (단순 또는 다중)회귀모형, GWR모형, 크리깅모형 등과 같이 통계적 기반의 모수 모형들만을 적용하였다. 이는 각 적용된 추정모형에서 가정한 특정 통계분포 함수의 파라미터에 의존하거나 또는 해당 함수를 통하여 산출된 값들을 다시 입력 자료로 적용해왔다. 그리고 실제 공간상에서 분포되어 있는 관측 값들은 특정 통계분포 함수를 따르고 있지 않고 다양한 형태로 혼재되어 있는 상태라고 볼 수 있다. 따라서 혼재되어 있는 상태의 관측 값들을 하나의 특정 통계분포 함수를 가정하여 AADT를 추정한다면 주어진 입력 자료에 내재되어 있는 개별 도로구간의 교통 특성을 왜곡시킬 우려가 있다.

최근 이동식 검지체계의 교통정보 수집원에서 수집되는 자료의 질과 양은 기존의 고정식 검지체계에서 수집 및 관리하던 자료와는 매우 다르다. 특히 차량용 내비게이션을 통하여 수집되는 GPS 차량 통행 자료는 수집되는 정보의 양과 공간적인 범위의 측면에서 그야말로 대용량의 자료라고 볼 수 있으며, IT기술의 발달로 인하여 높은 정확도를 보유하고 있다. 이와 같이 가용할 수 있는 자료의 양과 정확도 측면에서 볼 때, 미관측 도로구간의 AADT 추정모형도 이러한 자료를 활용할 수 있는 추정모형으로 변화되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 미관측 도로구간의 AADT를 추정하기 위하여 기존 모수 모형 기반의 추정모형과는 달리 GPS 차량 통행 자료를 활용

하여 비모수 모형을 적용한 AADT 추정모형을 개발하고자 한다. 본 연구의 모형개발 방향은 특정 통계모형에 데이터를 맞추던 기존의 방식에서 벗어나, 개발모형이 구축된 입력 자료의 DB를 탐색하여 주어진 대상 구간과 관련이 있는 자료들을 선별하고 선별된 자료를 기반으로 의사결정 과정을 통하여 미관측 도로구간의 AADT를 추정하는 모형을 개발하는 것이다. 즉, 실제 데이터에 내재되어 있는 미시적인 특성을 최대한 활용할 수 있는 데이터 기반의 비모수 모형을 AADT 추정모형으로 적용하고자 한다.

## 2. 모형개발을 위한 요구조건 분석

미관측 도로구간의 AADT 추정모형 개발에 앞서 먼저 모형의 용도와 운영환경 등을 고려한 요구조건 분석이 선행되어야 한다. 특히 본 개발모형은 향후 시스템의 내부 모듈로서 모형 탑재 및 효율적인 운영이 가능해야 하므로 일부 특정 지역 또는 구간이 아닌 전국의 미관측 도로구간들에 대한 AADT 추정이 가능하도록 모형을 개발해야 한다. 즉, 전체 도로구간에 적용이 가능하도록 개발모형을 일반화해야 하며, 적용되는 파라미터의 정산도 자동화가 이루어져야 한다. 이와 같이 모형의 개발방향을 고려하여 요구조건을 분석한 결과는 다음과 같다.

첫째, 일반적으로 수용 가능한 수준의 추정오차를 보여야 한다. 최신의 고도화된 추정모형을 개발하더라도 모형에 의해서 추정된 결과가 실제 관측 값과 차이가 많이 발생한다면 개발모형의 정확도 문제가 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 공간적 범위 내 도로구간별 관측교통량 대비 추정교통량의 오차가 요구하는 허용오차 수준을 만족하도록 개발되어야 한다.

둘째, 첫 번째 요구조건을 만족하기 위해서는 개별 도로구간 단위로 AADT를 추정함에 따른 불확실성(Uncertainty) 문제를 극복해야 한다. 이러한 불확실성에 대한 극복방안은 각 도로구간별로 추정되는 모형 식이 해당 도로구간의 특성을 얼마나 잘 반영할 수 있는 지에 대한 문제라

고 볼 수 있다. 하지만 기존 전역적인 추정모형들은 하나의 모형 식으로 대상 범위 내 전체 도로구간의 AADT를 추정하게 됨으로서 개별 도로구간의 특성을 제대로 반영하지 못하였다. 또한 공간의 이질성을 고려하는 국부적인 추정모형들 중 GWR모형의 경우는 적용된 입력 자료들이 대부분 기존 전역의 추정모형과 동일하게 사회·경제적 지표 등과 같이 지역 단위의 거시적인 자료를 적용하고 있어 여전히 개별 도로구간의 특성을 반영하지 못하였다. 다음으로 크리깅모형의 경우에는 어떠한 설명변수가 없이 대상구간과 인접한 관측 값들만을 이용하거나 또는 추가적으로 설명변수를 적용하는 경우에도 기존 연구와 동일하게 지역 단위의 거시적인 자료만을 적용하고 있는 실정이었다. 따라서 본 개발모형의 형태는 모수 모형 기반의 선행연구들과는 다르게 개별 도로구간의 미시적인 특성을 고려할 수 있는 데이터 기반의 비모수 모형으로 개발하도록 한다.

셋째, 향후 개발모형은 시스템 탑재가 용이하도록 간편하지만 robust한 모형이 되어야 하며, 전국 네트워크에 적용이 가능하도록 모형의 일반화와 파라미터의 자동 정산도 이루어져야 한다. 하지만, 기존 추정모형들은 대부분 전문가 의존적이며, 방법론이 어렵고 복잡한 통계모형만을 적용하고 있다. 특히 (단순 또는 다중)회귀모형, GWR모형의 경우는 전국 개별 도로구간 단위로 입력 자료의 구축 문제가 발생하며, 크리깅모형의 경우도 마찬가지로 도로구간별 최적의 베리오그램 모형 선정 및 공간 상관거리의 최적화 문제가 발생하게 된다. 이러한 기존 추정모형들은 향후 시스템의 모형 탑재가 어려울 것으로 판단되므로 본 개발모형은 전국 도로망 대상으로 하는 시스템 지향적인 모형으로 개발되어야 한다.

넷째, 기존 추정모형에서 일반적으로 이용되고 있는 지역 단위의 사회·경제적 지표는 시스템 상의 개별 도로구간 단위로 적용하기가 어려우므로 이를 대체할 수 있는 설명변수가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 빅데이터 활용이라는 측면에서 차량용 내비게이션에서 수집되고 있는 GPS 차량 통행 자료를 본 개발모형의 설명변수로 활용하고자 한다. 해

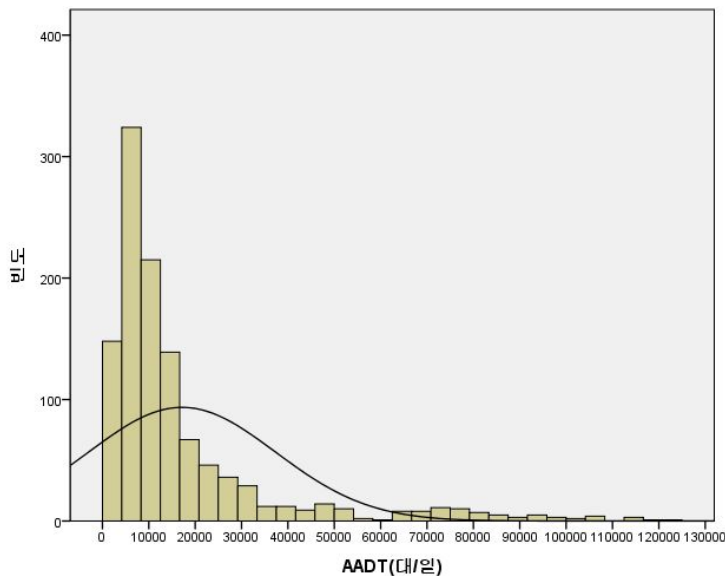
당 자료는 도로구간별로 통과하는 전체 차량의 표본에 해당되므로 각 구간별 관측교통량과의 상관관계 확보된다면 선행연구들에서 적용한 그 어떠한 설명변수들보다 종속변수에 대한 설명력이 가장 뛰어난 설명변수로서 활용이 가능할 것으로 판단된다.

다섯째, 개발모형의 추정력에 대한 지속적인 안정성이 고려되어야 한다. 개발모형이 파라미터에 너무 민감하지 않는 경우는 개별 도로구간의 다양한 특성에 대한 설명력이 떨어지게 되는 반면, 개발모형이 파라미터에 너무 민감한 경우는 개별 도로구간의 다양한 특성을 고려할 수는 있지만 파라미터의 최적화 과정이 지속적으로 갱신되지 않는다면 추정오차가 커지게 된다. 따라서 본 개발모형은 요구되는 허용수준의 오차 범위 내에서 파라미터 최적 값의 영역을 확대하여 보다 안정적인 모형이 되도록 개발해야 한다.

마지막으로 향후 시스템에 개발모형을 탑재한 이후의 효율적인 운영 문제를 고려해야 한다. 이를 위하여 특정 지역이 아닌 다양한 인접지역들에 대한 교통량 조사 자료의 활용이 가능해야 하며, 현장 조건의 변화와 수집 자료의 추가 등으로 입력 자료가 변경될 경우에는 개발모형의 구조변경(알고리즘 수정, 파라미터 재정산 등)의 용이성도 확보되어야 한다. 추가적으로 모형의 추정력이 아무리 뛰어나더라도 시스템 측면에서 연산 수행속도가 느릴 경우는 시스템 내 실제 모형의 적용 가능성이 현저히 떨어지게 된다. 따라서 개발모형은 모형의 파라미터 정산과정을 위한 연산 속도가 최대한 빠르게 수행되도록 개발되어야 한다.

### 3. 개발모형의 개념 및 접근법

본 개발모형의 개념 및 접근법에 대하여 설명하기 전에 먼저 전국 상시조사 지점을 대상으로 전체 AADT 자료의 빈도 분포를 살펴보았다. 그 결과, <그림 3-1>에서 보는 바와 같이 정규분포의 형태를 보이지 않고 있는 것을 알 수 있다. 이는 모집단의 통계분포를 정규분포로 가정하고 있는 기존 모수 모형 기반의 AADT 추정모형을 적용하는 데에 문제가 발생한다. 보통 이런 경우 실제 관측 값을 Box-Cox 변환을 이용하여 정규분포의 형태로 데이터를 변환해야 하는 문제가 발생하게 된다. 따라서 전체 공간에서 AADT 자료의 분포는 확률적인 상태보다는 혼재 또는 혼돈 상태에 가까우며, 해당 자료를 이용할 경우 관련 선행연구들에서 보는 바와 같이 통계적 기반의 모수 모형보다는 모집단의 분포를 고려하지 않는 비모수 모형이 더 유리할 것으로 판단된다.



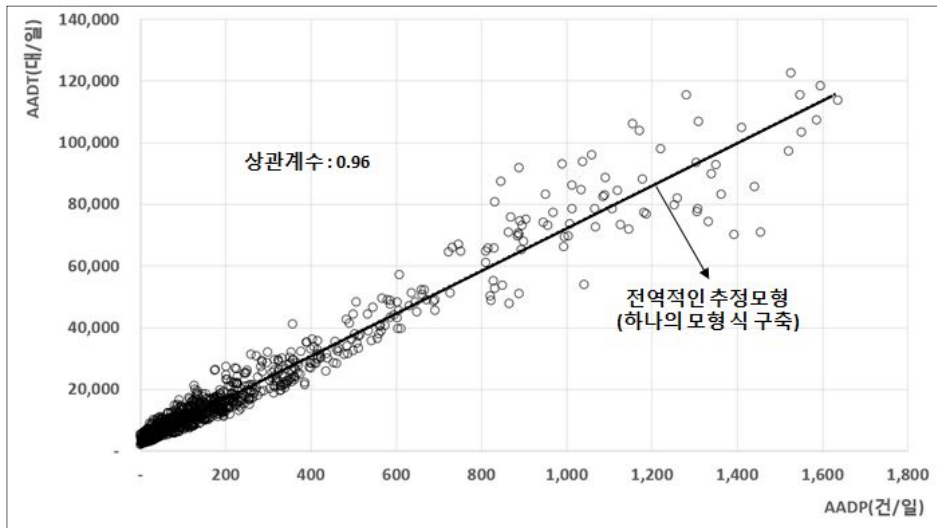
<그림 3-1> 전체 AADT 자료의 빈도 분포

따라서 본 연구에서는 모집단의 분포를 정규분포로 가정하는 기존의 모수 모형 기반의 추정모형이 아니라 모집단의 분포를 가정하지 않고 실

제 데이터에 내재되어 있는 특성을 고려하는 비모수 모형을 적용한다. 즉, 특정 통계모형에 데이터를 맞추던 기존의 방식에서 벗어나, 개발모형이 구축된 입력 자료의 DB를 탐색하여 주어진 대상구간과 관련이 있는 자료들을 선별하고, 선별된 자료를 기반으로 의사결정 과정을 통하여 AADT를 추정하는 모형으로 개발한다.

이러한 미관측 도로구간의 AADT 추정을 위한 본 연구의 개발모형은 GPS 차량 통행 자료를 활용한 비모수 모형과 모수 모형이 결합된 형태의 AADT 추정모형으로 개발한다. 여기서, 비모수 모형은 주어진 대상구간으로부터 인접한  $k$ 개의 최종 의사결정 군집을 구축하는 역할을 수행하며, 모수 모형은 구축된 최종 군집의 입력 자료를 이용하여 1차 선형형태인 추정 모형 식의 파라미터(기울기, 절편)를 최적화하는 역할을 수행한다.

먼저, 본 개발모형의 설명변수로 차량용 내비게이션에서 수집되고 있는 개별 차량들의 GPS 통행 자료를 활용한다. 이 자료는 기존의 특정 통계모형을 이용하여 산출한 추정 값이 아닌 실제 관측 값에 해당되며, 도로 구간별로 통과하는 전체 차량의 표본이기도 하다. 따라서 해당 자료가 본 개발모형의 설명변수로 적용이 가능한 지에 대하여 전국 상시 교통량조사 지점을 대상으로 각 지점별 AADT(대/일)와의 상관관계 분석을 수행하였다. 이를 위하여 각 조사지점에 해당하는 구간별 AADT의 단위와 동일하게 GPS 차량 통행 자료를 해당 구간별 AADP(건/일)로 집계하였으며, 각 구간별 AADP와 AADT의 상관관계는 <그림 3-2>와 같다. 두 변수의 상관관계를 분석한 결과, 상관계수(Correlation coefficient)가 0.96로 나타나 두 변수는 양의 방향으로 강한 선형관계를 갖는다는 것을 알 수가 있다. 따라서 AADP는 본 개발모형의 설명변수로서 적용이 가능한 것으로 판단되며, 본 연구의 추정모형 식은 AADT를 종속변수로 AADP를 설명변수로 하는 1차 선형 식의 형태가 된다. 그리고 <그림 3-2>에서 제시한 추정모형 식은 공간적 범위 내 전체 대상구간에 대하여 하나의 추정모형 식으로 AADT를 추정하는 전역적인(globally) 추정모형의 형태라고 볼 수 있다.

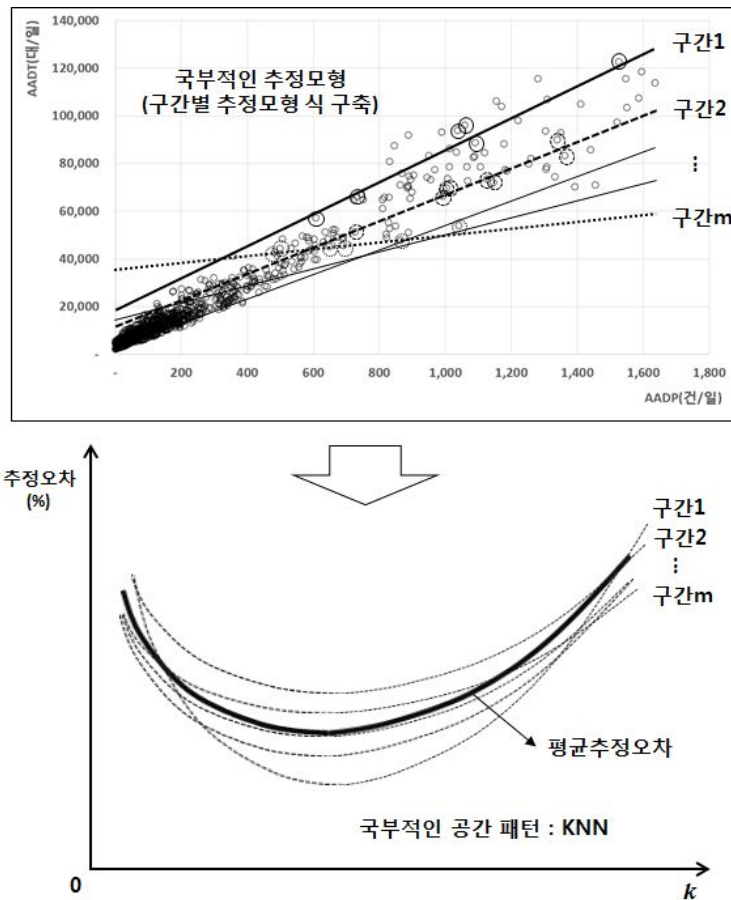


<그림 3-2> AADP와 AADT의 상관관계

하지만 이러한 전역적인 추정모형은 공간적 범위 내 개별 도로구간 단위의 미시적인 특성을 제대로 반영할 수 없으므로 대상구간별 추정오차가 커지게 된다. 이는 미관측 도로구간의 AADT 추정에 대한 불확실성을 극복하지 못한다는 의미이기도 하다. 따라서 본 연구에서는 전역적인 추정모형이 아닌 <그림 3-3>와 같이 개별 도로구간의 특성을 반영할 수 있는 국부적인(locally) 추정모형으로 개발한다. 즉, 전체적으로 하나의 추정모형 식을 구축하는 것이 아니라 개별 공간적인 특성을 고려하여 대상구간별로 추정모형 식을 구축할 수 있는 모형으로 개발한다. 관련 선행연구들에서도 전역적인 선형회귀모형보다 국부적인 GWR모형과 크리깅모형의 추정력이 더 우수한 것으로 나타났다(Zhao and Park 2004; Selby and Kockelman 2013). 단, 지역 단위의 공간적 이질성을 고려하는 선행연구의 추정모형들과는 달리 본 연구에서는 개별 도로구간의 특성을 고려하는 미시적 단위의 추정모형으로 개발한다.

여기서, 국부적인 추정모형을 개발하기 위해서는 대상구간별로 인접한 관측 값들을 탐색하여 각 구간별 국부적인 공간 패턴을 추출해야 한다. <그림 3-3>에서 보는 바와 같이 주어진 대상구간으로부터 인접한  $k$ 개

의 이웃별 추정오차의 곡선이 아래로 볼록한(convex) 경우는 대상구간의 국부적인 공간 패턴이 존재한다는 것을 의미한다. 또한 공간상에서 이질적(heterogeneous)으로 분포되어 있는 공간 자료를 대상구간과 관련성이 있는 동질적(homogeneous)인 군집으로 탐색 및 추출할 수 있다는 것도 의미한다. 이와 같이 대상구간별로 국부적인 공간 패턴을 탐색 및 추출하는 역할을 수행하는 것이 비모수 모형이며, 본 연구에서는 관련 선행 연구들에서 많이 이용되고 있는 KNN기법을 적용한다. KNN은 공간적 범위 내 주어진 대상구간으로부터 인접한  $k$ 개의 최근린 이웃을 이용한다는 것을 의미한다.



<그림 3-3> 본 연구의 국부적인 추정모형의 형태

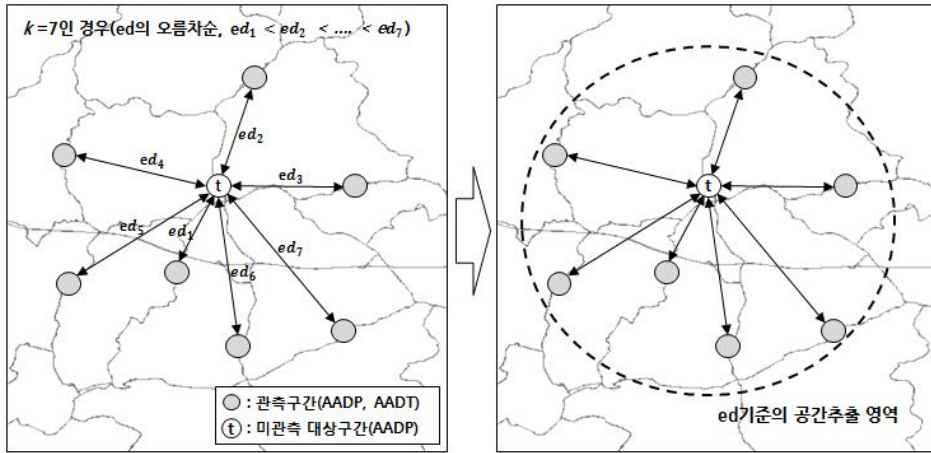


여기서, 본 연구의 KNN 추출방법으로는 <그림 3-4>에서 보는 바와 같이 3가지의 추출방법을 적용한다. 먼저 관련 선행연구들에서 일반적으로 적용되고 있는 유클리디안거리(Euclidean distance, 이하  $ed$ )를 기본적으로 이용한다. 이 추출방법은 주어진 대상구간으로부터 인접한  $k$ 개의 이웃을  $ed$ 가 짧은 순으로 탐색하여 탐색공간의 영역을 왜곡시키지 않으면서 이웃을 추출하는 방법을 말한다.

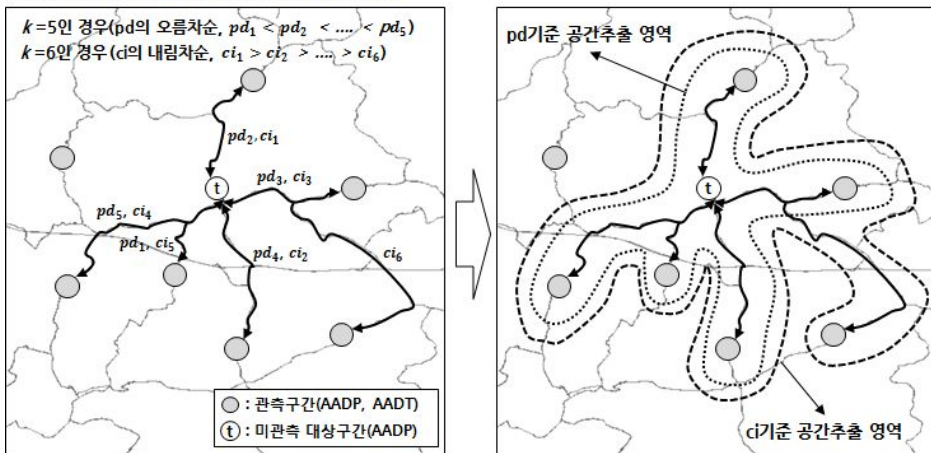
추가적으로 본 연구에서는 연결성지수(Connectivity index, 이하  $ci$ ), 최단경로거리(Shortest path distance, 이하  $pd$ )와 같이 실제 관측 값인 GPS 차량 통행 자료를 이용한 새로운 KNN 추출방법을 적용한다. 여기서,  $ci$ 는 주어진 대상구간과 인접한  $k$ 개의 이웃 간을 통과하는 차량의 누적빈도수(Cumulative frequency)를 의미하며,  $pd$ 는 주어진 대상구간과 인접한  $k$ 개 이웃 간의 최단경로거리를 의미한다. 즉,  $ed$ 와 같이 단순히 주어진 대상구간과의 직선거리가 가까운 순서대로 관측 값들을 탐색하여 추출하는 것이 아니라 대상구간과 인접한  $k$ 개의 이웃에 대하여  $ci$ 가 많은 순으로 또는  $pd$ 가 짧은 순으로 탐색하여 탐색공간의 영역을 왜곡시켜 가면서 이웃을 추출하는 방법을 말한다.

위와 같이 3가지의 KNN 추출방법에 따라 본 연구의 추정모형을 세분화하여 개발하고 각 적용모형별로 추정결과를 비교·분석하고자 한다. 일반적으로 적용되고 있는  $ed$ 와 같이 주어진 대상구간으로부터 단순히 GIS 상의 직선거리가 가까운 공간 자료일수록 해당 대상구간과의 상관성이 높아지는 것을 것으로 판단된다. 이는 전체 공간상에서 관측조사 지점별로 인접한 도로들의 기능과 특성이 동질적이지 않고 다양하며, 본 연구에서 활용하고 있는 자료가 차량용 내비게이션에서 수집되고 있는 개별 차량의 GPS 통행 자료이기 때문에  $ci$ ,  $pd$ 와 같이 개별 이동경로 기반의 KNN 추출방법이 오히려 기존의 방법보다 대상구간과의 상관성이 높은 공간자료를 탐색 및 추출할 것으로 판단된다. 여기서, 대상구간과 상관성이 높은 공간자료를 탐색 및 추출한다는 것은 이렇게 구축된 군집들의 공간 자료가 개발모형의 AADT 추정력에 영향을 미치기 때문이다.

■ 대상구간과 인접한  $k$ 개의 이웃 추출(ed 기준)



■ 대상구간과 인접한  $k$ 개의 이웃 추출(pd/ci 기준)

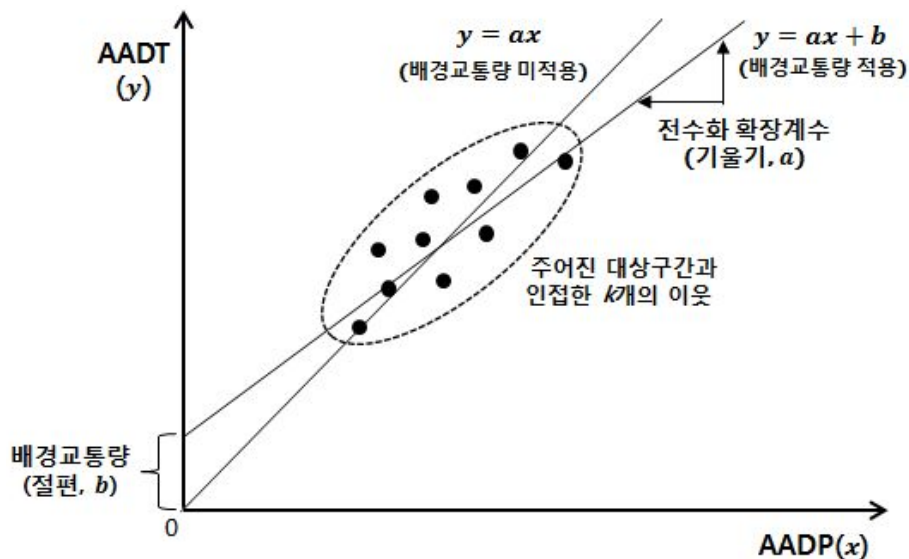


<그림 3-4> 3가지 형태의 KNN 추출방법 개념

주어진 대상구간과 인접한  $k$ 개의 최종 의사결정 군집의 입력 자료를 이용하여 해당 구간의 추정모형 식을 구축하게 된다. 추정모형 식의 형태는 <그림 3-5>에서 보는 바와 같이 두 변수의 상관관계에 따른 1차 선형 식에서 배경교통량을 적용하지 않는 경우는 기울기만 존재하는  $y=ax$ 의 형태가 되며, 배경교통량을 적용하는 경우는 기울기와 절편이 존재하는  $y=ax+b$ 의 형태가 된다. 여기서, 추정모형 식의 기울기는 전수화 확장계수, 절편은 배경교통량으로 정의한다. 배경교통량은 AADP

자료가 전체 차량 중 일부의 표본에 해당되므로 주어진 대상구간에 표본이 없더라도 기본적으로 통과하는 차량대수를 의미한다.

본 연구에서는 추정모형 식의 파라미터(기울기, 절편)를 최적화하기 위하여 LWLR(국부 가중선형회귀) 모형을 적용한다. 해당 모형은 공간적 범위 내 대상구간별로 추정모형 식을 구축하는 국부적인 선형회귀모형 형태이므로 주어진 대상구간과 인접한  $k$ 개의 이웃에 대하여 공간 가중치를 적용해야 한다. 공간 가중치는 일반적으로 이용되고 있는  $ed$ 와 본 연구에서 제안하는  $ci$ ,  $pd$ 로 추출한 값을 적용한다. 또한 본 개발모형은 국부적인 추정모형의 형태이므로 각 구간별로 구축되는 추정모형 식의 오차 향에 대한 정규분포를 가정하기는 어렵다(Selby and Kockelman, 2013). 따라서 본 연구에서는 추정모형 식의 파라미터를 최적화하기 위하여 통상적인 최소자승법을 적용하는 것에는 한계가 있으므로 다른 형태의 파라미터 최적화 방법을 제시한다.



<그림 3-5> 본 연구의 AADT 추정모형 개념

#### 4. 개발모형의 구조

본 연구에서 개발하는 AADT 추정모형은 GPS 차량 통행 자료를 활용하여 비모수 모형과 모수 모형이 결합된 형태의 KL모형을 개발하는 것이다. 앞서 개발모형의 개념 및 접근법에서 설명한 바와 같이 비모수 모형에는 KNN기법을 적용하여 최종 의사결정 군집을 구축한다. 그리고 모수 모형에는 LWLR모형을 적용하여 추정모형 식의 파라미터(기울기, 절편) 최적화 및 AADT를 추정한다.

KL모형은 3가지의 KNN 추출방법과 배경교통량(Background volume)의 적용 유무에 따라 <표 3-1>와 같이 6가지 추정모형의 형태로 개발한다. 먼저 배경교통량을 적용하지 않는 경우(KL<sub>NB</sub>)는 추정모형 식의 전수화 확장계수만을 이용하게 되므로 하나의 파라미터(기울기)만을 최적화해야 하는 반면, 배경교통량을 적용하는 경우(KL<sub>B</sub>)는 추정모형 식의 전수화 확장계수와 배경교통량을 모두 이용하게 되므로 두 가지의 파라미터(기울기, 절편)를 모두 최적화해야 한다. 이와 같이 배경교통량의 적용 유무에 따른 2가지의 추정모형은 3가지의 KNN 추출방법(*ci*, *pd*, *ed*)에 따라 각각 모형을 세분화하여 총 6가지 형태의 모형으로 개발한다.

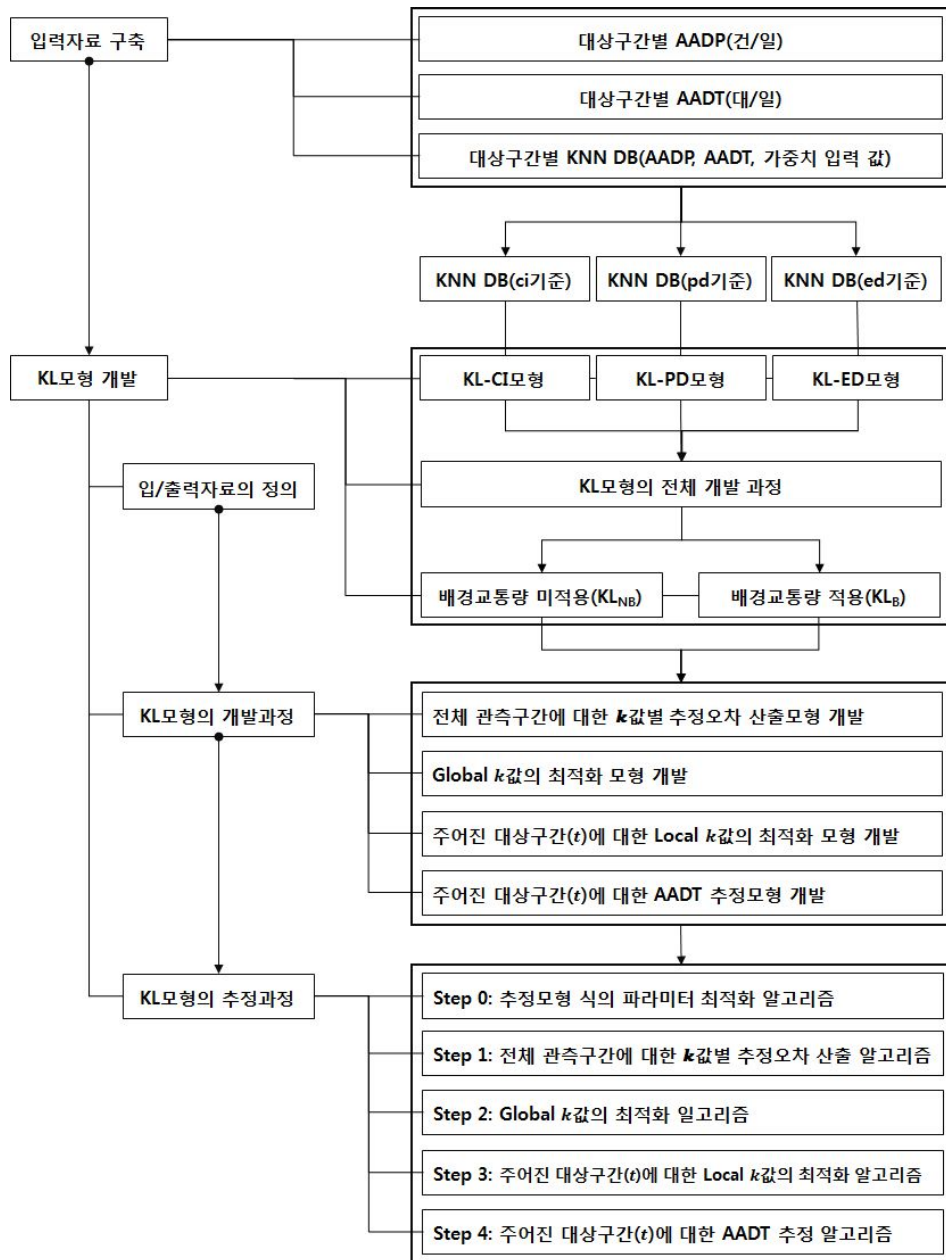
<표 3-1> KL모형의 개발유형 분류

구분		배경교통량(Background volume)	
		미적용(KL <sub>NB</sub> )	적용(KL <sub>B</sub> )
KNN 추출방법	연결성지수( <i>ci</i> )	KL-CI <sub>NB</sub> 모형	KL-CI <sub>B</sub> 모형
	최단경로거리( <i>pd</i> )	KL-PD <sub>NB</sub> 모형	KL-PD <sub>B</sub> 모형
	유클리디안거리( <i>ed</i> )	KL-ED <sub>NB</sub> 모형	KL-ED <sub>B</sub> 모형

앞서 설명한 6가지 형태의 KL모형에 대한 전체 개발 구조는 <그림 3-6>과 같다. 먼저 KL모형의 입력 자료는 공간적 범위 내 대상구간별 AADP, AADT, KNN DB으로 구성된다. 여기서, KNN DB는 주어진 대상구간으로부터 인접한  $k$ 개( $k \in k_{\max}$ )의 이웃에 대한 AADP, AADT, 가중치 입력 값으로 구성된 입력 자료의 집합이다. 이 중 가중치 입력 값은  $ci$ ,  $pd$ ,  $ed$ 와 같이 3가지의 KNN 추출방법에 따라 순서대로 산출되는 값을 의미한다. 산출된 3가지의 KNN DB는 각각 KL-CI모형, KL-PD모형, KL-ED모형의 입력 자료로 이용된다.

KL모형은 KNN기법과 LWLR모형이 결합된 형태이며, 먼저 KNN기법을 이용하여 주어진 대상구간으로부터 인접한  $k$ 개의 최종 의사결정 군집 구축하고, 구축된 최종 군집의 입력 자료를 이용하여 LWLR모형으로 추정모형 식의 파라미터(기울기, 절편) 최적화를 수행한다. 그리고 최적화된 파라미터를 이용하여 최종 추정모형 식을 구축한 후, 이 식으로 해당 대상구간의 AADP를 적용하여 AADT를 추정한다. KL모형의 개발과정은 입·출력 자료의 정의, KL모형의 개발(모형 식), KL모형의 추정과정(알고리즘)으로 구성된다. 이 중 KL모형의 개발은 전체 개발 과정, 전체 관측구간에 대한  $k$ 값별 추정오차 산출모형 개발, Global  $k$ 값의 최적화 모형 개발, 주어진 대상구간( $t$ )에 대한 Local  $k$ 값의 최적화 모형 개발, 주어진 대상구간( $t$ )의 AADT 추정모형 개발로 구성된다. KL모형의 추정과정은 먼저 추정모형 식의 파라미터(기울기, 절편) 최적화 알고리즘을 개발하고, 이전의 각 단계별 모형 식을 개발하기 위한 수행 알고리즘을 설명한다.

여기서, KL모형 중 KNN기법의 경우는 3가지 형태의 KNN 추출방법에 따라 KL-CI모형, KL-PD모형, KL-ED모형으로 세분화하여 개발하고, LWLR모형의 경우는 추정모형 식에서 배경교통량의 적용 유무에 따라 파라미터 최적화 방법을 두 가지 형태( $KL_{NB}$ ,  $KL_B$ )의 모형으로 세분화하여 개발한다.



<그림 3-6> KL모형의 전체 개발 구조

## 제2절 개발모형의 추정문제 정의

### 1. 입·출력 변수의 정의

본 개발모형의 입력 변수는 주어진 대상구간( $t$ )의 연평균 일프로브통행량(AADP,  $p_t$ ), 대상구간으로부터 인접한  $k$ 개의 관측구간에 대한 KNN DB로 구성된다. KNN DB는 대상구간과 인접한  $k$ 개의 관측구간별 AADP( $p$ ), AADT( $q$ ), 가중치 입력 값( $c$ )으로 이루어진다. 이 중 가중치 입력 값은  $ci$ ,  $pd$ ,  $ed$ 로 구성된다. 여기서, KNN DB는  $X_{t,k}$ 로 정의로 정의하며, 식(3-1)~식(3-3)과 같다.

$$X_{t,k} = [x_{t,1}, x_{t,2}, \dots, x_{t,k}], \quad \forall k, k \in k_{\max} \quad \text{식(3-1)}$$

$$x = [p, q, c] \quad \text{식(3-2)}$$

$$c = \{ci, pd, ed\} \quad \text{식(3-3)}$$

위의  $X_{t,k}$ 는 3가지의 KNN 추출방법에 따라 다음과 같이 정의한다. 먼저 가중치입력 값이  $ci$ 인 경우, 주어진 대상구간으로부터 인접한  $k$ 개의 관측구간에 대하여  $ci$ 가 많은 관측구간의 순으로 첫 번째부터  $k$ 값까지의 집합  $X_{t,k}$ 로 정의한다. 여기서,  $ci$ 는 대상구간과  $k$ 개의 각 관측구간을 통과하는 프로브차량의 누적빈도수(건)를 말한다. 다음으로 가중치 입력 값이  $pd$  또는  $ed$ 인 경우, 주어진 대상구간으로부터 인접한  $k$ 개의 관측구간에 대하여  $pd$  또는  $ed$ 가 짧은 관측구간 순으로 첫 번째부터  $k$ 값까지의 집합  $X_{t,k}$ 로 정의한다.

본 개발모형의 출력 변수는 주어진 대상구간의 AADT 추정모형 식에서 대상구간의  $p_t$ 를 적용하여 추정한 연평균 일교통량(AADT,  $\hat{q}_t$ )으로 정의한다.

## 2. 추정모형 식의 정의

본 연구의 추정모형 식은 앞서 개발모형의 개념 및 접근법에서 설명한 바와 같이 공간적 범위 내 전체 도로구간별 AADP(건/일)와 AADT(대/일)의 상관관계가 양의 방향으로 강한 선형관계를 가진다는 조건과 배경교통량의 적용 유무에 따라 2가지 형태의 추정모형 식으로 정의한다. 즉, 추정모형 식에 배경교통량을 적용하지 않는 경우는 절편이 없고 기울기만 존재하는 식(3-4)의 형태가 되며, 배경교통량을 적용하는 경우는 기울기와 절편이 모두 존재하는 식(3-5)의 형태가 된다. 여기서, 개별 도로구간 단위로 추정모형 식을 구축하는 LWLR모형의 경우에는 통상적인 선형회귀모형과 같이 오차 항에 대한 정규 분포를 가정할 필요는 없다 (Selby and Kockelman, 2013).

$$\hat{q}_t = f(p_t) = \hat{e}_t \times p_t \quad \text{식(3-4)}$$

$$\hat{q}_t = f(p_t) = \hat{q}_{t,b} + \hat{e}_t \times p_t \quad \text{식(3-5)}$$

여기서,  $\hat{q}_t$  = 주어진 대상구간( $t$ )의 추정교통량(대/일)

$\hat{e}_t$  = 주어진 대상구간( $t$ )의 전수화 확장계수(기울기)

$p_t$  = 주어진 대상구간( $t$ )의 AADP(건/일)

$\hat{q}_{t,b}$  = 주어진 대상구간( $t$ )의 배경교통량(대/일, 절편)

## 3. 파라미터 최적화를 위한 목적함수의 정의

본 연구의 목적함수는 주어진 대상구간( $t$ )로부터 인접한  $k(k \in k_{\max})$ 개의 관측구간에 대하여 전체  $i$ 구간( $i \in k$ )별 추정교통량( $\hat{q}_{t,i}$ )과 관측교통량( $q_{t,i}$ )의 평균 추정오차를 최소화 시키는 문제라 할 수 있다. 여기서, 평균 추정오차는 상대적 개념의 가중평균 절대 백분위 오차(Weighted mean absolute percentage error, 이하 WMAPE(%))를 적용하였다.



본 개발모형은 전역적인 추정모형 식을 구축하는 모형이 아니라 공간적 범위 내 전체 개별 도로구간의 추정모형 식을 구축하는 국부적인 추정모형을 개발하는 것이다. 즉, 각 구간별 KNN DB의 AADP와 AADT 자료는 해당 구간의 도로 기능 및 특성에 따라 작은 값에서부터 큰 값까지 그 변동 폭이 크고 매우 다양하게 구축되어 있다. 이와 같이 구축된 입력 자료의 변동 폭이 큰 경우, MAPE(%)는 직관적이면서 공정한 평가의 기준을 제공해 주는 것으로 나타났다(Smith et al., 2002). 그리고 추정모형의 가중치는 GPS 차량 통행 자료를 이용하여 주어진 대상구간( $t$ )으로부터 인접한  $k$ 개 관측구간 간의  $ci$ ,  $pd$ ,  $ed$ 를 각각 산출하여 적용한다.

따라서 본 연구의 목적함수 식( $\varepsilon_t$ )은 식(3-6)과 식(3-7)에서 보는 바와 같이 배경교통량의 적용유무에 따른 추정모형 식으로 구분하여 정의한다. 즉, 배경교통량이 없는 경우는 식(3-6)의 목적함수 식을 이용하여 정의한 추정모형 식에서 하나의 파라미터[상위문제: 기울기(전수화 확장계수)]를 최적화해야 하며, 배경교통량이 있는 경우는 식(3-7)의 목적함수 식을 이용하여 두 개의 파라미터[상위문제: 기울기, 하위문제: 절편(배경교통량)]를 최적화해야 한다.

$$\min \varepsilon_t = \sum_{i=1}^k \left( \frac{|q_{t,i} - \hat{q}_{t,i}|}{q_{t,i}} \times w_{t,i} \right) : \text{상위문제(기울기)} \quad \text{식(3-6)}$$

$$\text{s.t. } q_{t,i} > 0, \hat{e}_t > 0, \hat{e}_{t,\min} < \hat{e}_t < \hat{e}_{t,\max}, \quad \forall i, i \in k, k \in k_{\max}$$

$$\min \varepsilon_t = \sum_{i=1}^k \left( \frac{|q_{t,i} - \hat{q}_{t,i}|}{q_{t,i}} \times w_{t,i} \right) : \text{하위문제(절편)} \quad \text{식(3-7)}$$

$$\text{s.t. } \hat{q}_{t,b} > 0, \hat{q}_{t,b,\min} < \hat{q}_{t,b} \leq \hat{q}_{t,b,\max}, \quad \forall i, i \in k, k \in k_{\max}$$

여기서,  $q_{t,i}$  = 주어진 대상구간( $t$ )과 인접한  $i$ 번째 관측구간의 AADT(대/일)

$\hat{q}_{t,i}$  = 주어진 대상구간( $t$ )과 인접한  $i$ 번째 관측구간의 추정교통량(대/일)

$w_{t,i}$  = 주어진 대상구간( $t$ )과 인접한  $i$ 번째 관측구간의 가중치(0~1.0)

$$\begin{aligned}\hat{e}_{t, \min}, \hat{e}_{t, \max} &= \text{주어진 대상구간}(t)\text{에 대한 기울기의 최소값, 최대값} \\ \hat{q}_{t, b, \min}, \hat{q}_{t, b, \max} &= \text{주어진 대상구간}(t)\text{에 대한 절편의 최소값, 최대값}\end{aligned}$$

KNN의 추출방법 중  $ci$ 로 구축한 입력 자료를 이용할 경우, 가중치는 특정 통계분포 함수에서 산출한 값이 아닌 식(3-8)과 같이 실제 데이터를 이용하여 산출한 값을 적용한다.

$$\begin{aligned}w_{t, i} &= \frac{f_{t, i}}{\sum_{i=1}^k f_{t, i}} & \text{식(3-8)} \\ \text{s.t. } f_{t, i} &> 0 \quad \forall i, i \in k, k \in k_{\max}\end{aligned}$$

여기서,  $f_{t, i}$  = 대상구간( $t$ )으로부터 인접한  $i$ 번째 관측구간의 누적빈도수(건)

KNN의 추출방법 중  $pd$ 와  $ed$ 로 구축한 입력 자료를 이용할 경우, 공간거리에 대한 가중치 함수는 대표적으로 bi-square 함수와 Gaussian 함수가 적용되고 있다. 본 연구에서는 이 두 가지의 가중치 함수 중 모형의 추정력이 우수한 Gaussian 함수를 적용한다(Zaho and Park, 2004). 여기서, Gaussian 함수는 식(3-9)과 같이 정의하며, 이 중 변동 폭(Bandwidth) 계수는 대상구간으로부터 공간거리가 가까울수록 가중치가 증가하는  $\theta = 1$ 을 적용하였다.

$$\begin{aligned}w_{t, i} &= \frac{\exp[-(d_{t, i}/\theta)^2]}{\sum_{i=1}^k \exp[-(d_{t, i}/\theta)^2]} & \text{식(3-9)} \\ \text{s.t. } d_{t, i} &> 0 \quad \forall i, i \in k, k \in k_{\max}\end{aligned}$$

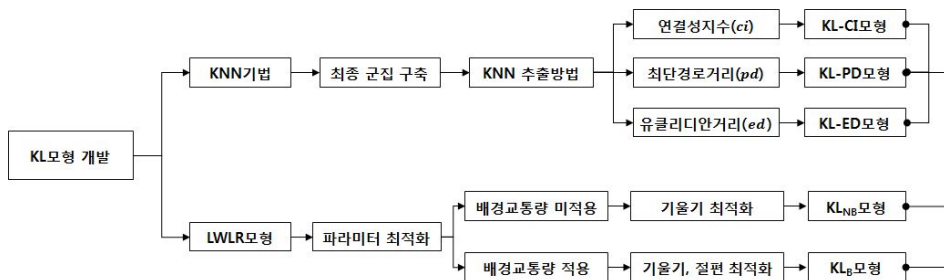
여기서,  $d_{t, i}$  = 대상구간( $t$ )과 인접한  $i$ 번째 관측구간 간의 공간거리(km)

$\theta$  = Gaussian 함수의 변동 폭(Bandwidth) 계수( $\theta = 1$ )

### 제3절 미관측 도로구간의 AADT 추정을 위한 KL모형 개발

KL모형은 KNN기법과 LWLR모형이 결합된 AADT 추정모형의 형태로 주어진 대상구간으로부터 인접한  $k$ 개( $k \in k_{\max}$ )의 최종 의사결정 군집을 구축하고, 구축된 최종 군집의 입력 자료를 이용하여 추정모형 식의 파라미터(기울기, 절편)를 최적화한다. 마지막으로 최적화된 파라미터를 이용하여 최종 추정모형 식을 구축하고, 대상구간의 AADP를 이용하여 AADT를 추정하게 된다. 여기서, KL모형 중 KNN기법은 최종의사결정 군집을 구축하는 역할을 수행하며,  $ci$ ,  $pd$ ,  $ed$ 와 같이 3가지 형태의 KNN 추출방법에 따라 KL-CI모형, KL-PD모형, KL-ED모형으로 세분화하여 개발한다. LWLR모형은 최종 군집의 입력 자료를 이용하여 추정모형 식의 파라미터를 최적화하는 역할을 수행하며, 추정모형 식의 배경교통량 적용 유무에 따라 파라미터 최적화 방법을 두 가지 형태( $KL_{NB}$ ,  $KL_B$ )의 모형으로 세분화하여 개발한다. 즉, 배경교통량을 적용하지 않는 경우( $KL_{NB}$ )는 단일 제약으로 하나의 파라미터(기울기)를 최적화하고, 배경교통량을 적용하는 경우( $KL_B$ )는 이중 제약의 형태로 두 가지의 파라미터(기울기, 절편)를 최적화한다.

위에서 설명한 KL모형의 세부적인 기능 분류는 <그림 3-7>과 같다. KNN 기법은 KNN 추출방법에 따라 3가지의 모형으로 구분하고, LWLR모형은 배경교통량 적용 유무에 따른 2가지의 파라미터 최적화 방법으로 구분한다. 이와 같이 KL모형은 총 6가지 형태의 추정모형으로 세분화하여 개발한다.



<그림 3-7> KL모형의 세부적인 기능 분류

## 1. 입·출력 자료의 정의

KL모형의 입·출력 자료는 공통적으로 주어진 대상구간( $t$ )에 대한 입·출력 자료와 공간적 범위 내 전체  $M$ 개의 관측구간에 대한 입·출력 자료로 구분할 수 있다.

KL모형의 입력 자료는 먼저, 주어진 대상구간( $t$ )으로부터 인접한  $k$ 개 ( $k \in k_{\max}$ )의 관측구간에 대하여 대상구간의 연평균 일프로브통행량(AADP)은  $p_t$ 로 정의하며, 대상구간과 인접한  $k$ 개의 관측구간에 대한 KNN DB는  $X_{t,k}$ 로 정의한다. 여기서,  $X_{t,k}$ 는  $X_{t,k} = [x_{t,1}, x_{t,2}, \dots, x_{t,k}]$ ,  $x = [p, q, c]$ ,  $c = \{ci, pd, ed\}$ ,  $\forall k$ ,  $k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$ 로 정의하며, 가중치 입력 값( $c$ )은 3가지의 KNN 추출방법에 따라  $ci$ ,  $pd$ ,  $ed$ 로 정의한다.

다음으로 공간적 범위 내 전체  $M$ 개의 관측구간에 대하여 각  $m$ 구간별 ( $\forall m$ ,  $m \in M$ ) 연평균 일프로브통행량(AADP)은  $p_m$ , 연평균 일교통량(AADT)는  $q_m$ , 각  $m$ 구간별로 인접한  $k$ 개( $k \in k_{\max}$ )의 관측구간에 대한 KNN DB는  $X_{m,k}$ 로 정의한다. 여기서,  $X_{m,k}$ 는  $X_{m,k} = [x_{m,1}, x_{m,2}, \dots, x_{m,k}]$ ,  $x = [p, q, c]$ ,  $c = \{ci, pd, ed\}$ ,  $\forall m, k$ ,  $m \in M$ ,  $k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$ 로 정의한다.

KL모형의 출력 자료는 먼저, 주어진 대상구간( $t$ )에 대하여 해당 구간의 최종 모형 식을 이용하여 추정된 연평균 일교통량은  $\hat{q}_t$ 로 정의한다. 그리고 대상구간의 최종 의사결정 군집을 구축하기 위한  $k$ 값은 Local  $k$  ( $k_t^o$ )로 정의한다.

다음으로 공간적 범위 내 전체  $M$ 개의 관측구간에 대하여 각  $m$ 구간별로 구축된 최종모형 식을 이용하여 추정한 연평균 일교통량은  $\hat{q}_m$ 로 정의한다. 그리고 각  $m$ 구간별로 인접한  $k$ 개의 관측구간에 대하여  $k$ 값별 추정오차는  $\varepsilon_{m,k}$ 로 정의 하며, 주어진 대상구간의 Local  $k$ 를 결정하기 위하여 공통적으로 적용되는 인접한  $k$ 개의 관측구간 개수는 Global  $k$  ( $k_g^o$ )로 정의한다.

## 2. KL모형의 개발과정(모형 식)

KL모형의 전체 개발과정은 주어진 대상구간( $t$ )의 AADT를 추정하기 위해서는 <그림 3-8>과 같이 전체 관측  $m$ 구간별  $k$ 값별 추정모형 식의 파라미터(기울기, 절편) 최적화, Global  $k$ 값( $k_g^o$ )의 최적화, 대상구간에 대한 Local  $k$ 값( $k_t^o$ )의 최적화, 대상구간에 대한 추정모형 식의 파라미터(기울기, 절편) 최적화와 같이 총 6단계의 최적화 과정이 필요하다.

구분	KL의 모형 개발과정(모형 식)	추정과정 (알고리즘)
<b>AADT 추정모형식</b>	배경교통량 미적용(KL <sub>NB</sub> ) : $\hat{q}_t = f(p_t) = \hat{e}_t \times p_t \rightarrow$ 상위문제만 고려	<b>Step 4</b>
<b>기울기① (상위문제)</b>	배경교통량 적용(KL <sub>B</sub> ) : $\hat{q}_t = f(p_t) = \hat{q}_{t,b} + \hat{e}_t \times p_t \rightarrow$ 상위와 하위문제 모두 고려 Find $\hat{q}_{t,b}, \hat{e}_t$ Min $\varepsilon_t$ (대상구간 $t$ 의 상위문제 목적함수 최소화) s.t. $\hat{e}_t > 0, q_{t,k} > 0, \hat{e}_{t,\min} < \hat{e}_t < \hat{e}_{t,\max} \quad \forall k, k \in k_t^o$ Min $\varepsilon_t$ (대상구간 $t$ 의 하위문제 목적함수 최소화) s.t. $\hat{q}_{t,b} > 0, q_{t,k} > 0, \hat{q}_{t,\min} < \hat{q}_{t,b} < \hat{q}_{t,\max} \quad \forall k, k \in k_t^o$ Min $\varepsilon_{t,k}$ (대상구간 $t$ 의 $k$ 값별 추정오차 최소화)	<b>Step 0 (상위문제) LWLR</b>
<b>절편① (하위문제)</b>	s.t. $\hat{q}_{t,b} > 0, q_{t,k} > 0, \hat{q}_{t,\min} < \hat{q}_{t,b} < \hat{q}_{t,\max} \quad \forall k, k \in k_t^o$ Min $\varepsilon_{t,k}$ (대상구간 $t$ 의 $k$ 값별 추정오차 최소화)	<b>(하위문제) LWLR</b>
<b>Local <math>k_t^o</math> 결정</b>	s.t. $k_g^o > 0, q_{t,j} > 0, \hat{q}_{t,j,k} > 0 \quad \forall j, k, j \in k_g^o, k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$ Min $\varepsilon_{g,k}$ ( $k$ 값별 전체 평균 추정오차 최소화)	<b>Step 3 KNN</b>
<b>Global <math>k_g^o</math> 결정</b>	s.t. $\varepsilon_{m,k} > 0 \quad \forall m, k, m \in M, k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$	<b>Step 2 KNN</b>
<b>관측구간별 추정오차 산출</b>	$\varepsilon_{m,k}$ ( $m$ 구간별 $k$ 값별 추정오차 산출) $\forall m, k, m \in M, k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$	<b>Step 1</b>
<b>관측구간별 교통량 추정 기울기② (상위문제)</b>	$\hat{q}_{m,k} = f(p_{m,k}) = \hat{e}_{m,k} \times p_{m,k} \rightarrow$ 상위문제만 고려 $\hat{q}_{m,k} = f(p_{m,k}) = \hat{q}_{m,b,k} + \hat{e}_{m,k} \times p_{m,k} \rightarrow$ 상위와 하위문제 모두 고려 Find $\hat{q}_{m,k,b}, \hat{e}_{m,k}$ Min $\varepsilon_{m,k}$ ( $m$ 구간별 $k$ 값별 상위문제 목적함수 최소화) s.t. $\varepsilon_{m,k} > 0, \hat{e}_{m,k} > 0, q_{m,i} > 0, \hat{e}_{m,k,\min} < \hat{e}_{m,k} < \hat{e}_{m,k,\max}$ $\forall m, i, k, m \in M, i \in k, k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$ Min $\varepsilon_{m,k}$ ( $m$ 구간별 $k$ 값별 하위문제 목적함수 최소화) s.t. $\varepsilon_{m,k} > 0, \hat{q}_{m,k,b} > 0, q_{m,i} > 0,$ $\hat{q}_{m,k,b,\min} < \hat{q}_{m,k,b} < \hat{q}_{m,k,b,\max}$ $\forall m, i, k, m \in M, i \in k, k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$ If $c = ci$ then KL-CI모형, KNN DB( $ci$ 기준) If $c = pd$ then KL-PD모형, KNN DB( $pd$ 기준) If $c = ed$ then KL-ED모형, KNN DB( $ed$ 기준)	<b>Step 0 (상위문제) LWLR</b>
<b>절편② (하위문제)</b>		<b>(하위문제) LWLR</b>
<b>KNN 추출방법 결정</b>		-

<그림 3-8> KL모형의 전체 개발과정

### ①전체 관측구간에 대한 $k$ 값별 추정오차 산출모형 개발

본 개발모형은 다음 단계의 Global  $k$ 값( $k_g^p$ )을 결정하기 위하여 공간적 범위 내 전체  $M$ 개의 관측구간에 대하여  $k$ 값별 추정오차 산출하는 모형으로서 먼저, 각 관측  $m$ 구간별( $\forall m, m \in M$ )로 인접한  $k$ 개( $\forall k, k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$ )의 관측구간에 대한 KNN DB[AADP( $p$ ), AADT( $q$ ), 가중치 입력 값( $c$ )]를 이용하여  $k$ 값별 추정모형 식의 파라미터(기울기, 절편)를 최적화해야 한다. 여기서, 가중치 입력 값은  $ci$ ,  $pd$ ,  $ed$ 와 같이 3가지 형태의 KNN 추출방법에 따라 KL-CI모형, KL-PD모형, KL-ED모형으로 구분하여 적용한다. 또한 배경교통량을 적용하지 않는 경우(KL<sub>NB</sub>모형)의 추정모형 식은 식(3-10)와 같으며, 배경교통량을 적용하는 경우(KL<sub>B</sub>모형)의 추정모형 식은 식(3-11)와 같다.

$$\hat{q}_{m,k} = f(p_{m,k}) = \hat{e}_{m,k} \times p_{m,k} \quad \text{식(3-10)}$$

$$\hat{q}_{m,k} = f(p_{m,k}) = \hat{q}_{m,k,b} + \hat{e}_{m,k} \times p_{m,k} \quad \text{식(3-11)}$$

여기서,  $\hat{q}_{m,k}$  = 관측  $m$ 구간별  $k$ 값별 AADT(대/일)

$\hat{e}_{m,k}$  = 관측  $m$ 구간별  $k$ 값별 전수화 확장계수(기울기)

$p_{m,k}$  = 관측  $m$ 구간별  $k$ 값별 AADP(건/일)

$\hat{q}_{m,k,b}$  = 관측  $m$ 구간별  $k$ 값별 배경교통량(대/일, 절편)

위의 두 추정모형 식의 파라미터 최적화를 위한 목적함수 식( $\varepsilon_{m,k}$ )은 식(3-12)과 식(3-13)과 같으며, 목적함수가 최소화될 때까지 반복수행 과정을 통하여 파라미터를 최적화한다. 여기서, 배경교통량을 적용하지 않는 경우는 단일 제약의 형태로 추정모형 식의 상위문제 기울기( $\hat{e}_{m,k}$ )만을 최적화해야 하며, 배경교통량을 적용하는 경우는 이중 제약의 형태로 추정모형 식의 상위문제 기울기와 하위문제 절편( $\hat{q}_{m,k,b}$ )을 모두 최적화

해야 한다. 두 모형의 파라미터 최적화 방법은 KL모형의 추정과정(알고리즘)에서 <그림 3-14>와 <그림 3-15>를 참조한다.

$$\text{Min } \varepsilon_{m,k} = \sum_{i=1}^k \left( \frac{|q_{m,i} - \hat{q}_{m,i}|}{q_{m,i}} \times 100 \times w_{m,i} \right) : \text{상위문제(기울기)} \quad \text{식(3-12)}$$

$$\text{s.t. } \varepsilon_{m,k} > 0, \hat{e}_{m,k} > 0, q_{m,i} > 0, \hat{e}_{m,k, \min} < \hat{e}_{m,k} < \hat{e}_{m,k, \max}$$

$$\forall m, i, k, m \in M, i \in k, k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$$

$$\text{Min } \varepsilon_{m,k} = \sum_{m=1}^k \left( \frac{|q_{m,i} - \hat{q}_{m,i}|}{q_{m,i}} \times 100 \times w_{m,i} \right) : \text{하위문제(절편)} \quad \text{식(3-13)}$$

$$\text{s.t. } \varepsilon_{m,k} > 0, \hat{q}_{m,k,b} > 0, q_{m,i} > 0, \hat{q}_{m,k, b_{\min}} < \hat{q}_{m,k,b} < \hat{q}_{m,k, b_{\max}}$$

$$\forall m, i, k, m \in M, i \in k, k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$$

여기서,  $q_{m,i}$  = 관측  $m$ 구간과 인접한  $i$ 번째 관측교통량(대/일)

$\hat{q}_{m,i}$  = 관측  $m$ 구간과 인접한  $i$ 번째 추정교통량(대/일)

$w_{m,i}$  = 관측  $m$ 구간과 인접한  $i$ 번째 가중치(0~1.0)

$\hat{e}_{m,k, \min}, \hat{e}_{m,k, \max}$  = 관측  $m$ 구간별  $k$ 값별 기울기의 최소값, 최대값

$\hat{q}_{m,k, b_{\min}}, \hat{q}_{m,k, b_{\max}}$  = 관측  $m$ 구간별  $k$ 값별 절편의 최소값, 최대값

KNN의 추출방법 중  $ci$ 의 가중치 함수는 식(3-14)과 같이 정의한다.

$$w_{m,i} = \frac{f_{m,i}}{\sum_{i=1}^k f_{m,i}} \quad \text{식(3-14)}$$

$$\text{s.t. } f_{m,i} > 0 \quad \forall m, i, k, m \in M, i \in k, k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$$

여기서,  $f_{m,i}$  = 관측  $m$ 구간과 인접한  $i$ 번째 관측구간의 누적빈도수(건)

KNN의 추출방법 중  $pd$ 와  $ed$ 의 가중치 함수는 식(3-15)과 같이 정의한다.

$$w_{m,i} = \frac{\exp[-(d_{m,i}/\theta)^2]}{\sum_{i=1}^k \exp[-(d_{m,i}/\theta)^2]} \quad \text{식(3-15)}$$

$$\text{s.t. } d_{m,i} > 0 \quad \forall m, i, k, \quad m \in M, \quad i \in k, \quad k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$$

여기서,  $f_{m,i}$  = 관측  $m$ 구간과 인접한  $i$ 번째 관측구간 간의 공간거리(km)

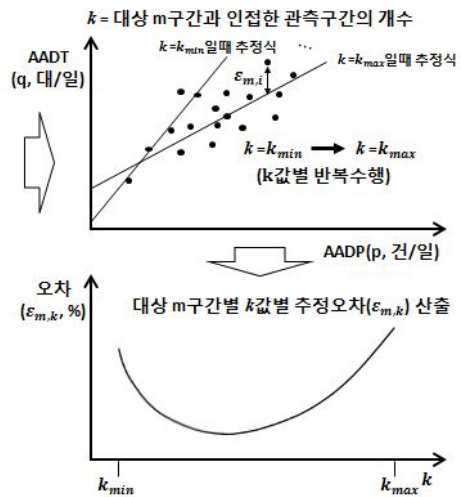
$\theta$  = Gaussian 함수의 변동 폭(Bandwidth) 계수( $\theta = 1$ )

다음으로 최적화된 추정모형 식의 파라미터를 이용하여 관측  $m$ 구간별  $k$ 값별 AADT( $\hat{q}_{m,k}$ )를 추정해야 한다. 추정된  $\hat{q}_{m,k}$ 와 관측  $m$ 구간별 실제 관측교통량( $\hat{q}_m$ )을 이용하여 식(3-16)과 같이 관측  $m$ 구간별  $k$ 값별 추정오차( $\varepsilon_{m,k}$ )를 산출해야 한다. 이에 대한 전체적인 산출 개념은 <그림 3-9>와 같다.

$$\varepsilon_{m,k} = \frac{|\hat{q}_{m,k} - q_m|}{q_m} \times 100 \quad \text{식(3-16)}$$

$$\text{s.t. } q_m > 0 \quad \forall m, k, \quad m \in M, \quad k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$$

공간적 범위 내 전체 M개의 관측구간을 대상으로



<그림 3-9> 전체 관측구간에 대한  $k$ 값별 추정오차 산출 개념



## ②Global $k$ 값의 최적화 모형 개발

본 개발모형은 다음 단계의 주어진 미관측 대상구간( $t$ )의 최종 의사결정 군집의 개수인 Local  $k$ 값( $k_t^o$ )을 최적화하기 위하여 대상구간으로부터 인접한 적정 관측구간의 추출 개수 즉, Global  $k$ 값( $k_g^o$ )를 결정하는 모형이다. 여기서, Global  $k$ 값은 개발모형의 추정력에 대한 지속적인 안정성을 고려하기 위하여 요구되는 허용수준의 오차 범위 내에서 대상구간의 Local  $k$ 값에 대한 최적화 영역을 확대하기 위한 적정 군집의 추출 개수를 말한다. 만약 이러한 파라미터의 지속적인 안정성을 확보하지 못한다면 다음과 같은 문제점이 발생하게 된다. 개발모형이 파라미터에 너무 민감하지 않는 경우에는 개별 도로구간의 다양한 특성에 대한 설명력이 떨어지게 되는 반면, 개발모형이 파라미터에 너무 민감한 경우에는 최적화 과정이 지속적으로 갱신되지 않는다면 추정오차가 커지게 된다.

Global  $k$ 값의 최적화는 이전 단계에서 산출한 전체  $M$ 개의 관측구간을 대상으로  $m$ 구간별( $\forall m, m \in M$ )  $k$ 값별 추정오차( $\varepsilon_{m,k}$ )를 이용하여  $k$ 값( $\forall k, k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$ )별 평균 추정오차( $\varepsilon_{g,k}$ )를 산출한다. 산출된  $k$ 값별 평균 추정오차에서 식(3-17)와 같이 오차가 최소가 되는 Global  $k$ 값을 결정한다.

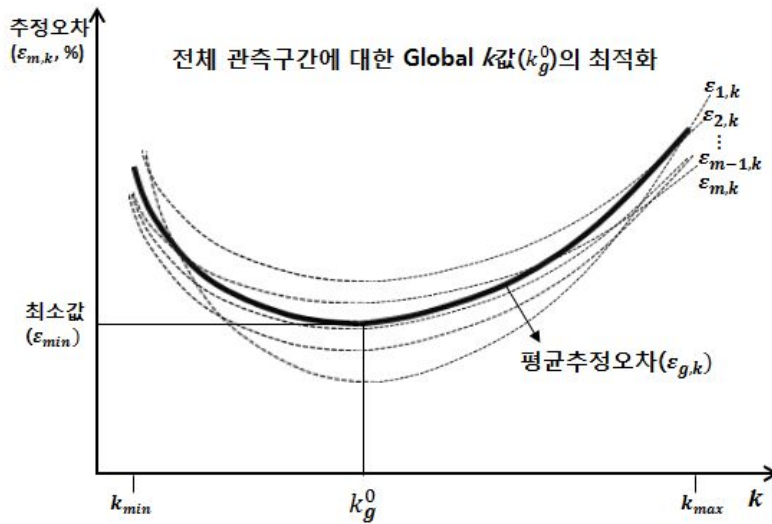
$$\text{Min } \varepsilon_{g,k} = f'n(k) = \frac{\sum_{m=1}^M (\varepsilon_{m,k})}{M} \quad \text{식(3-17)}$$

$$\text{s.t. } M > 0, \varepsilon_{m,k} > 0 \quad \forall m, k, m \in M, k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$$

여기서,  $\varepsilon_{g,k}$  = 전체 관측구간에 대한  $k$ 값별 평균 추정오차(%)

$\varepsilon_{m,k}$  = 관측  $m$ 구간별  $k$ 값별 추정오차(%)

앞서 설명한 전체 관측구간을 대상으로 Global  $k$ 값을 결정하기 위한 최적화 개념은 <그림 3-10>과 같다.



<그림 3-10> Global  $k$ 값의 최적화 개념

### ③주어진 대상구간( $t$ )에 대한 Local $k$ 값의 최적화 모형 개발

본 개발모형은 다음 단계에서 주어진 미관측 대상구간( $t$ )의 AADT를 추정하기 위하여 최종 의사결정 군집의 개수인 Local  $k$ 값( $k_t^o$ )을 최적화 하는 모형이다. 즉, Local  $k$ 값은 Global  $k$ 값( $k_g^o$ )의 결정으로 인하여 확대된 허용오차 범위 내 최적화 영역에서 대상구간의 추정오차를 최소화 시킬 수 있는 적정 군집의 개수를 말한다.

Local  $k$ 값의 최적화는 먼저, 이전 단계에서 산출한 Global  $k$ 값을 이용하여 주어진 미관측 대상구간( $t$ )으로부터 인접한  $k_g^o$ 개의 관측구간을 추출한다. 추출된  $j$ 개( $\forall j, j \in k_g^o$ )의 관측구간에 대한 구간  $j$ 별  $k$ 값( $\forall k, k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$ )별 추정오차( $\varepsilon_{t,j,k}$ )를 모두 이용하여 대상구간의  $k$ 값별 평균 추정오차( $\varepsilon_{t,k}$ )를 산출한다. 산출된  $k$ 값별 평균 추정오차에서 식 (3-18)과 같이 오차가 최소가 되는  $k_t^o$ 값을 결정한다.

$$Min \varepsilon_{t,k} = \frac{\sum_{j=1}^{k_g^o} (\varepsilon_{t,j,k})}{k_g^o} = \frac{\sum_{j=1}^{k_g^o} \left( \frac{|\hat{q}_{t,j,k} - q_{t,j}|}{q_{t,j}} \times 100 \right)}{k_g^o} \quad \text{식(3-18)}$$

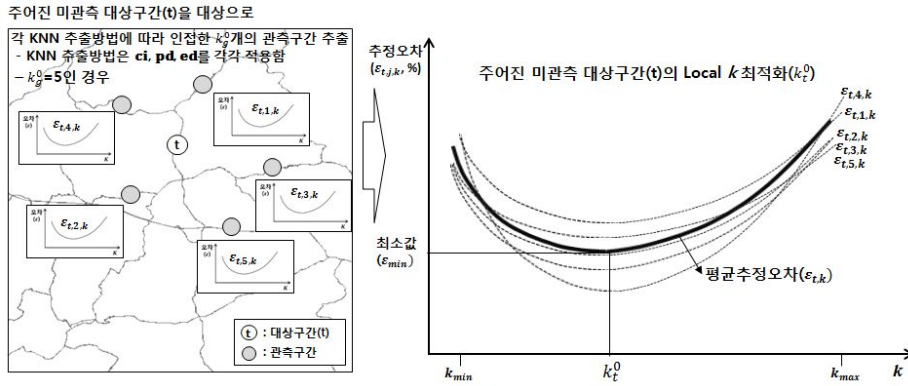
$$\text{s.t. } k_g^0 > 0, q_{t,j} > 0, \hat{q}_{t,j,k} > 0 \quad \forall j, k, j \in k_g^o, k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$$

여기서,  $\varepsilon_{t,j,k}$  = 대상구간( $t$ )과 인접한  $j$ 번째 구간의  $k$ 값별 평균 추정오차(%)

$\hat{q}_{t,j,k}$  = 대상구간( $t$ )과 인접한  $j$ 번째 구간의  $k$ 값별 추정교통량(대/일)

$q_{t,j}$  = 대상구간( $t$ )과 인접한  $j$ 번째 구간의 실제 관측교통량(대/일)

앞서 설명한 주어진 미관측 대상구간( $t$ )의 Local  $k$ 값을 결정하기 위한 최적화 개념은 <그림 3-11>과 같다.



<그림 3-11> 주어진 대상구간에 대한 Local  $k$ 값의 최적화 개념

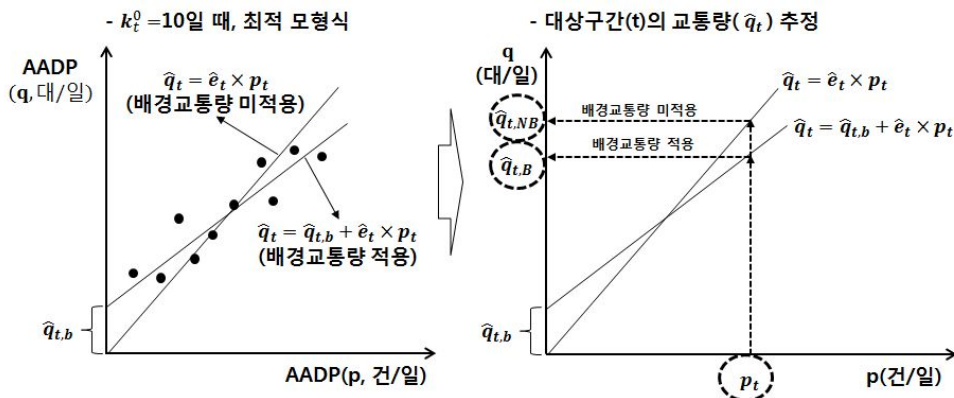
#### ④주어진 대상구간( $t$ )에 대한 AADT 추정모형 개발

본 개발모형은 주어진 대상구간( $t$ )의 AADT( $\hat{q}_t$ )를 추정하는 모형으로서 먼저, 이전 단계에서 산출한 Local  $k(k_t^o)$ 값을 이용하여 대상구간의 최종 의사결정 군집을 구축한다. 즉, 대상구간의 연평균 일프로브통행량은  $p_t$ , 대상구간과 인접한  $k$ 개( $\forall k, k \in k_t^o$ )의 관측구간에 대한 최종 군집의

KNN DB를 구축하고 이를  $X_{t,k}$ 로 정의한다. 여기서,  $X_{t,k}$ 는  $X_{t,k} = [x_{t,1}, x_{t,2}, \dots, x_{t,k}]$ ,  $x = [p, q, c]$ ,  $c = \{ci, pd, ed\}$ ,  $\forall k, k \in k_t^o$ 로 정의한다. 구축된 최종 군집의 입력 자료를 이용하여 대상구간의 추정모형식에 대한 파라미터(기울기, 절편)를 최적화해야 한다. 가중치 입력 값( $c$ )은  $ci, pd, ed$ 로 정의한다.

Step 4에서의 추정모형식은 앞서 설명한 배경교통량의 적용 유무 따른 식(3-4)~식(3-5)와 동일하며, 두 추정모형식의 파라미터 최적화를 위한 목적함수 식도 식(3-6)~식(3-7)과 같다. 목적함수의 가중치는 앞서 설명한 3가지의 KNN의 추출방법에 따른 가중치 함수 식(3-8)~식(3-9)을 이용하여 동일하게 산출한다. 여기서, 두 모형의 파라미터 최적화 방법은 KL모형의 추정과정(알고리즘)에서 <그림 3-14>와 <그림 3-15>를 참조한다. 최적화된 파라미터를 이용하여 구축한 최종모형식을 이용하여 대상구간의  $\hat{q}_t$ 를 추정한다.

앞서 설명한 주어진 미관측 대상구간( $t$ )의 AADT를 추정하기 위한 산출개념은 <그림 3-12>와 같다.



<그림 3-12> 주어진 대상구간의 AADT 추정 개념

### 3. KL모형의 추정과정(알고리즘)

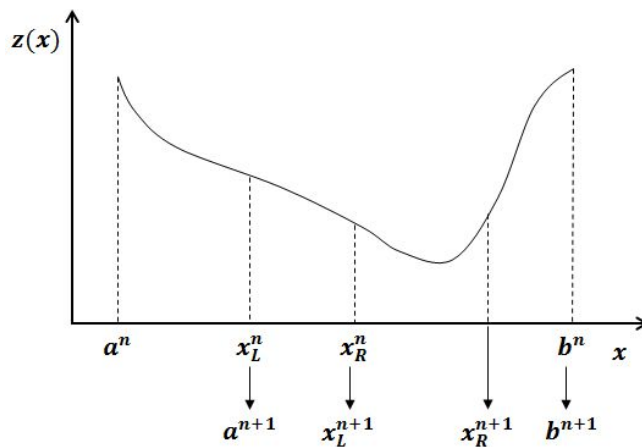
KL모형의 추정과정은 먼저 배경교통량의 적용 유무에 따른 추정모형식의 파라미터(기울기, 절편) 최적화 알고리즘(Step 0)을 설명한다. 그리고 앞서 KL모형의 개발과정(모형 식)과 동일하게 각 단계별로 모형개발을 위한 수행 알고리즘(Step 1~Step 4)을 설명한다.

#### ①Step 0: 파라미터(기울기, 절편) 최적화 알고리즘 개발

본 연구의 추정모형 식은 기울기(전수화 확장계수)와 절편(배경교통량)에 대한 파라미터 최적화를 수행해야 한다. 일반적으로 기존 회귀모형에서 파라미터를 최적화하는 방법으로는 통상적인 OLS, WLS, ML, REML과 같은 4가지의 최적화 방법이 있다(Eom et al., 2006). 이 중 통상적인 OLS와 WLS는 공간거리에 대한 가중치의 적용 유무에 따라 오차제곱 합(Error Sum of Squares)의 최소화 문제를 다루며, 각 파라미터에 대하여 편미분한 후 연립방정식으로 풀어서 파라미터를 추정한다. ML과 REML은 적용되는 함수에 대한 제약조건의 적용 유무에 따라 우도함수(Likelihood function)의 최대화 문제를 다루며, 최대우도추정치에서 우도함수를 파라미터에 대하여 미분한 함수 값이 0일 때의 파라미터를 추정한다. 이러한 추정방법들은 전체 모집단의 분포와 추정 모형식의 오차 항 분포가 정규 분포라는 가정이 필요하다. 하지만, 실제 공간의 AADT 자료는 정규 분포를 가정할 수 없으며, 본 개발모형은 전역적인 추정모형이 아니라 전체 도로구간별로 추정모형식을 구축하는 국부적인 추정모형의 형태이므로 기존의 통상적인 회귀모형의 파라미터 최적화 방법을 적용하는 데에는 한계가 발생한다. 또한 기존 방법으로는 반복 수행과정을 통하여 본 연구의 추정모형식의 제약조건을 만족하면서 목적함수식을 최소화하기가 어려운 실정이다.

따라서 본 연구에서는 기존 방법에 대한 대안으로 황금분할법(Golden section search)을 적용한 파라미터 최적화 방법을 제안한다. 여기서, 황금분할법은 미리 지정된 구간의 두 끝점에서의 함수 값을 비교하며, 구

간을 줄여 가면서 최적해 지점을 찾아가는 1차원 최적화 방법이다. <그림 3-13>에서 보는 바와 같이 변수  $x$ 는  $[a, b]$  사이에 존재하면서 목적 함수  $z(x)$ 가 연속이고 간격 내 어느 곳에서도 유일하게 정의된다고 가정할 경우, 두 점  $x_L^n, x_R^n$ (단,  $x_L^n < x_R^n$ )에서  $z(x)$ 값의 비교를 통하여 구간을 축소해 나가는 최적화 방법이다. 이 때  $r$ 은 황금분할비율(Golden ratio)인 0.618을 이용하게 된다.<sup>6)</sup>



<그림 3-13> 황금분할법 개념

그리고 본 연구에서는 추정모형 식의 파라미터 최적화 방법을 배경교통량의 적용 유무에 따라 단일 또는 이중제약의 최적화 방법으로 개발한다. 즉, 추정모형 식의 배경교통량을 적용하지 않는 경우는 단일 제약의 최적화 문제로 하나의 파라미터(기울기)만을 최적화 한다. 반면, 배경교통량을 적용하는 경우 이중 제약의 최적화 문제로서 두 가지의 파라미터(기울기, 절편)를 동시에 최적화 한다. 여기서, 이중제약의 최적화 문제는 두 가지의 파라미터를 최적화해야 하므로 상위레벨과 하위레벨의 최적화 문제로 구분한다. 상위레벨은 기울기(전수화 확장계수,  $\hat{e}$ )의 최적화 문제를 다루며, 하위레벨은 절편(배경교통량,  $\hat{q}_b$ )의 최적화 문제를 다룬다. 이

6) 임용택·임강원(2003), “교통망분석론”, 서울대학교 출판부

러한 두 가지의 최적화 문제를 이중 제약조건을 따라 반복과정을 통하여 본 연구의 목적함수를 최소화시킬 때까지 동시에 수행되도록 한다.

먼저, 배경교통량을 적용하지 않는 경우의 파라미터 최적화 알고리즘은 <그림 3-14>에서 보는 바와 같이 총 4단계로 이루어져 있다. 이 알고리즘은 단일 제약의 최적화 문제를 다루며, 추정모형 식의 기울기(전수화 확장계수)만을 최적화한다. 첫 번째 단계를 수행하기 전에 각종 입력변수들에 대한 정의를 수행한다. 입력 변수는 주어진 대상구간으로부터 인접한  $k$ 개( $k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$ )의 관측구간에 대한 KNN DB를 집합  $X_i$ 로 정의하며,  $X_i$ 는  $X_k = [x_1, x_2, \dots, x_i]$ ,  $x = [p, q, c]$ ,  $c = \{ci, pd, ed\}$ ,  $\forall i, i \in k$ 로 정의한다. 수렴치( $\varepsilon_c$ )는 0.0001, 황금비율( $gr$ )은 0.618, 기울기( $\hat{e}$ )의 최소값( $e_{\min}$ )과 최대값( $e_{\max}$ ), Convex 상태에 대한 모형의 제약조건을 정의한다.

Step 0-1은 기울기의 초기 최소값과 최대값의 범위 내에서 황금비율을 통하여 4개의 영역( $\hat{e}_j, j = [1, 2, 3, 4]$ )의 기울기 산출 범위를 설정한다. 첫 번째( $\hat{e}_1$ )는 초기 최소값( $e_{\min}$ ), 네 번째( $\hat{e}_4$ )는 초기 최대값( $e_{\max}$ )으로 설정한다. 그리고 두 번째( $\hat{e}_2$ )는 초기 최대값에서  $(1-gr)$ 을 곱한 값, 세 번째( $\hat{e}_3$ )는 초기 최대값에서 황금비율( $gr$ )을 곱한 값으로 설정한다.

Step 0-2는 이전 단계에서 4가지의 영역으로 산출된  $\hat{e}_j$ 를 이용하여 각 영역별 오차  $\varepsilon_j$ 를 산출한다.

Step 0-3는 이전 단계에서 산출된 각 영역별  $\varepsilon_j$ 를 이용하여 기울기의 Convex 상태를 체크한 후  $\varepsilon_j$ 가 최소화되는 영역의 범위를 결정한다. 오차가 최소화되는 영역의 범위에 따라 다시 기울기의  $e_{\min}$ 과  $e_{\max}$ 를 결정한다.

Step 0-4는 이전 단계에서 산출한 기울기의  $e_{\min}$ 과  $e_{\max}$ 를 이용하여 수렴조건( $|e_{\max} - e_{\min}| \leq \varepsilon_c$ )에 만족하는지 여부를 판단한다. 수렴조건에 만족할 경우는 최종적으로 기울기를 산출하고 추정모형 식을 구축한다. 수렴조건에 만족하지 못할 경우는 Step 1로 가서 다시 반복과정을 수행한다.

Given Target Link's KNN DB,  $X_i = [x_1, x_2, \dots, x_i]$ ,  $x = [p, q, c]$ ,  
 $c = \{ci, pd, ed\}$ ,  $\forall i, i \in k, k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$

Define  $\varepsilon_c = 0.0001$ ,  $gr = \frac{\sqrt{5}-1}{2} \doteq 0.618$ ,  $\hat{e}_j, j = [1, 2, 3, 4]$

$$e_{\min} = \text{Min}(\frac{x_{q,i}}{x_{p,i}}), \text{ if } e_{\min} < 0 \text{ then } e_{\min} = 0, e_{\max} = \text{Max}(\frac{x_{q,i}}{x_{p,i}})$$

convex condition  $\{\varepsilon_1 \text{ or } \varepsilon_4\} \neq \text{argmin } \varepsilon_j$

subject to  $\hat{e} > 0, \hat{e}_{\min} < \hat{e} < \hat{e}_{\max}$

**Step 0-1: Partition of Space about  $\hat{e}_j \forall j, j \in 4$**

$$\hat{e}_1 = e_{\min}$$

$$\hat{e}_2 = e_{\min} + (1 - gr) \times (e_{\max} - e_{\min})$$

$$\hat{e}_3 = e_{\min} + gr \times (e_{\max} - e_{\min})$$

$$\hat{e}_4 = e_{\max}$$

**Step 0-2: Calculate  $\varepsilon_i$**

$$\varepsilon_j = \sum_{i=1}^k (\frac{\hat{q}_j(i) - q(i)}{q(i)} \times 100 \times w(i)) \quad \forall i, i \in k,$$

**Step 0-3: Searching Convex  $\forall j$**

If convex condition = true then

If  $\text{argmin } \varepsilon_j = 2$  then  $e_{\min} = e_1, e_{\max} = e_3$

Else( $\text{argmin } \varepsilon_j = 3$  then)  $e_{\min} = e_2, e_{\max} = e_4$

Else(convex condition = false then)

If  $\text{argmin } \varepsilon_j = 1$  then  $e_{\min} = e_2, e_{\max} = e_4$

Else( $\text{argmin } \varepsilon_j = 4$  then)  $e_{\min} = e_1, e_{\max} = e_3$

**Step 0-4: Converge Checking**

if  $|e_{\max} - e_{\min}| \leq \varepsilon_c$  then

$$e_i = 0.5 \times e_{\min} + 0.5 \times e_{\max}$$

$$\varepsilon_i = 0.5 \times \text{Min}(\varepsilon_j) + 0.5 \times \text{Max}(\varepsilon_j)$$

go to Stop

else

go to Step 1

<그림 3-14> 추정모형 식의 파라미터 최적화 알고리즘(배경교통량 미적용)



다음으로 배경교통량을 적용하는 경우의 파라미터 최적화 알고리즘은 <그림 3-15>에서 보는 바와 같이 총 4단계로 이루어져 있다. 이 알고리즘은 이중 제약의 최적화 문제를 다루며, 추정모형 식의 기울기(전수화 확장계수)와 절편(배경교통량)을 동시에 최적화한다. 첫 번째 단계를 수행하기 전에 각종 입력변수들에 대한 정의를 수행한다. 입력 변수는 주어진 대상구간으로부터 인접한  $k$ 개( $k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$ )의 관측구간에 대한 KNN DB를 집합  $X_i$ 로 정의하며,  $X_i$ 는  $X_k = [x_1, x_2, \dots, x_i]$ ,  $x = [p, q, c]$ ,  $c = \{ci, pd, ed\}$ ,  $\forall i, i \in k$ 로 정의한다. 수렴치( $\varepsilon_c$ )는 0.0001, 황금비율( $gr$ )은 0.618, 배경교통량( $\hat{q}_b$ )의 초기 최소값( $q_{b, \min}$ )과 최대값( $q_{b, \max}$ ), 기울기( $\hat{e}$ )의 최소값( $e_{\min}$ )과 최대값( $e_{\max}$ ), Convex 상태에 대한 모형의 제약조건을 정의한다.

Step 0-1은 절편( $\hat{q}_b$ )의 초기 최소값과 최대값의 범위 내에서 황금비율을 통하여 4개의 영역( $\hat{q}_{b,j}, j = [1, 2, 3, 4]$ )에 대한 절편의 산출 범위를 설정한다. 첫 번째( $\hat{q}_{b,1}$ )는 초기 최소값( $q_{b, \min}$ ), 네 번째( $\hat{q}_{b,4}$ )는 초기 최대값( $q_{b, \max}$ )으로 하며, 두 번째( $\hat{q}_{b,2}$ )는 초기 최대값에서  $(1-gr)$ 을 곱한 값, 세 번째( $\hat{q}_{b,3}$ )는 초기 최대값에서 황금비율( $gr$ )을 곱한 값으로 산출한다.

Step 0-2는 기울기를 최적화하는 단계로서 이전 단계와 동일한 방법( $\hat{e}_{jj}, jj = [1, 2, 3, 4]$ )으로  $\hat{e}_1, \hat{e}_2, \hat{e}_3, \hat{e}_4$ 를 산출한다. 4가지의 영역으로 산출된  $\hat{q}_{b,j}$ 와  $\hat{e}_{j,jj}$ 를 이용하여 각 영역별 오차  $\varepsilon_{j,jj}$ 를 산출한다. 산출된  $\varepsilon_{j,jj}$ 를 이용하여 기울기  $\hat{e}_{j,jj}$ 의 Convex 상태를 체크한 후,  $\varepsilon_{j,jj}$ 가 최소화 되는 영역의 범위를 결정한다. 오차의 최소화 영역의 범위에 따라 기울기의 최소값( $e_{\min}$ )과 최대값( $e_{\max}$ )을 다시 결정한다. 그리고 전수화 확장계수의 수렴조건( $|e_{\max} - e_{\min}| \leq \varepsilon_c$ )에 만족하는지 여부를 판단한다. 수렴조건에 만족할 경우 다음 Step 0-3으로 넘어가고 만족하지 못할 경우 Step 0-2로 가서 다시 반복과정을 수행한다.

Step 0-3은 수렴된  $\hat{e}_{jj}$ 의 오차  $\varepsilon_{j,jj}$ 을 이용하여 Step 0-1에서 산출한  $\hat{q}_{b,j}$ 의 Convex 상태를 체크하여 오차가 최소화되는 영역의 범위를 결정한다. 오차의 최소화 영역의 범위에 따라 다시 절편의  $q_{b,\min}$ 과  $q_{b,\max}$ 을 결정한다.

Step 0-4는 이전 단계에서 산출한 절편의  $q_{b,\min}$ 과  $q_{b,\max}$ 을 이용하여 수렴조건( $|q_{b,\max} - q_{b,\min}| \leq \varepsilon_c$ )에 만족하는지 여부를 판단한다. 수렴조건에 만족할 경우는 최종적으로 절편( $\hat{q}_b$ )과 기울기( $\hat{e}$ )를 산출하여 추정모형 식을 구축한다. 수렴조건을 만족하지 못할 경우는 Step 0-1로 가서 다시 반복과정을 수행한다.

Given Target Link's KNN DB,  $X_k = [x_1, x_2, \dots, x_k]$ ,  $x = [p, q, c]$ ,  
 $c = \{ci, pd, ed\}$ ,  $k \in k_{\max}$ ,  $k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$

Define  $\varepsilon_c = 0.0001$ ,  $gr = \frac{\sqrt{5}-1}{2} \doteq 0.618$

$\hat{q}_{b,j}$ ,  $j = [1, 2, 3, 4]$ ,  $\hat{e}_{jj}$ ,  $jj = [1, 2, 3, 4]$

$q_{b,\min} = 0$ ,  $q_{b,\max} = \text{Max}(x_{q,i})$

$e_{\min} = \text{Min}(\frac{x_{q,i} - \hat{q}_{b,j}}{x_{p,i}})$ , if  $e_{\min} < 0$  then  $e_{\min} = 0$

$e_{\max} = \text{Max}(\frac{x_{q,i} - \hat{q}_{b,j}}{x_{p,i}})$

convex condition  $\{\varepsilon_{j,1} \text{ or } \varepsilon_{j,4}\} \neq \text{argmin} \varepsilon_{j,jj}$

subject to  $\hat{e} > 0$ ,  $\hat{e}_{\min} < \hat{e} < \hat{e}_{\max}$ ,  $\hat{q}_b > 0$ ,  $\hat{q}_{b,\min} < \hat{q}_b \leq \hat{q}_{b,\max}$

**Step 0-1: Partition of Space about  $\hat{q}_{b,j} \forall j, j \in 4$**

- $\hat{q}_{b,1} = \hat{q}_{b,\min}$
- $\hat{q}_{b,2} = q_{b,\min} + (1 - gr) \times (q_{b,\max} - q_{b,\min})$
- $\hat{q}_{b,3} = q_{b,\min} + gr \times (q_{b,\max} - q_{b,\min})$
- $\hat{q}_{b,4} = q_{b,\max}$

**Step 0-2: Optimization of  $\hat{e}_{jj} \forall jj, jj \in 4$**

Step 0-2-1: Partition of Space about  $\hat{e}_{jj}$

- $\hat{e}_1 = e_{\min}$
- $\hat{e}_2 = e_{\min} + (1 - gr) \times (e_{\max} - e_{\min})$
- $\hat{e}_3 = e_{\min} + gr \times (e_{\max} - e_{\min})$
- $\hat{e}_4 = e_{\max}$

Step 0-2-2: Calculate  $\varepsilon_{j,jj}$

$$\varepsilon_{j,jj} = \sum_{i=1}^k \left( \frac{\hat{q}_{j,jj}(i) - q(i)}{q(i)} \times 100 \times w(i) \right) \quad \forall i, i \in k$$

Step 0-2-3: Searching Convex  $\forall jj$

if convex condition = true then  
     if argmin  $\varepsilon_{j,jj} = 2$  then  $e_{\min} = e_1, e_{\max} = e_3$   
     else(argmin  $\varepsilon_{j,jj} = 3$  then)  $e_{\min} = e_2, e_{\max} = e_4$   
 else(convex condition = false then)  
     if argmin  $\varepsilon_{j,jj} = 1$  then  $e_{\min} = e_2, e_{\max} = e_4$   
     else(argmin  $\varepsilon_{j,jj} = 4$  then)  $e_{\min} = e_1, e_{\max} = e_3$

Step 0-2-4: Converge Checking

if  $|e_{\max} - e_{\min}| \leq \varepsilon_c$  then  
      $e_j = 0.5 \times e_{\min} + 0.5 \times e_{\max}$   
      $\varepsilon_j = 0.5 \times \text{Min}(\varepsilon_j) + 0.5 \times \text{Max}(\varepsilon_j)$   
     go to Step 3  
 else  
     go to Step 2-1

**Step 0-3: Searching Convex  $\forall j \rightarrow$  Optimization of  $\hat{q}_{b,j}$**

if convex condition = true then  
     if argmin  $\varepsilon_j = 2$  then  $q_{b,\min} = q_{b,1}, q_{b,\max} = q_{b,3}$   
     else(argmin  $\varepsilon_j = 3$  then)  $q_{b,\min} = q_{b,2}, q_{b,\max} = q_{b,4}$   
 else(convex condition = false then)  
     if argmin  $\varepsilon_j = 1$  then  $q_{b,\min} = q_{b,2}, q_{b,\max} = q_{b,4}$   
     else(argmin  $\varepsilon_j = 4$  then)  $q_{b,\min} = q_{b,1}, q_{b,\max} = q_{b,3}$

**Step 0-4: Converge Checking about  $\hat{q}_{b,j}$**

if  $|q_{b,\max} - q_{b,\min}| \leq \varepsilon_c$  then  
      $\hat{q}_b = 0.5 \times q_{b,\min} + 0.5 \times q_{b,\max}$   
      $\hat{e} = 0.5 \times e_{\min} + 0.5 \times e_{\max}$   
     go to Stop  
 else  
     go to Step 1

<그림 3-15> 추정모형 식의 파라미터 최적화 알고리즘(배경교통량 적용)

## ②Step 1: 전체 관측구간에 대한 $k$ 값별 추정오차 산출 알고리즘

Step 1에서는 다음 단계의 Global  $k(k_g^o)$ 를 결정하기 위하여 전체 관측구간에 대한  $k$ 값별 추정오차 산출하는 단계이다. 먼저, 입력 자료는 전체  $M$ 개의 관측구간에 대하여 각  $m$ 구간별( $\forall m, m \in M$ ) 연평균 일프로브통행량은  $p_m$ , 연평균 일교통량(AADT)는  $q_m$ , 각  $m$ 구간별로 인접한  $k$ 개( $k \in k_{\max}$ )의 관측구간에 대한 KNN DB는  $X_{m,k}$ 로 정의한다.

세부적인 산출과정은 <그림 3-16>과 같이 총 4단계에 걸쳐 수행된다. Step 1-1에서는  $ci$ ,  $pd$ ,  $ed$ 와 같이 3가지 형태의 KNN 추출방법에 따라 KL-CI모형, KL-PD모형, KL-ED모형 중 적용모형을 선택하고 해당 모형의  $m$ 구간별 KNN DB  $X_{m,k}$ 를 구축하게 된다. Step 1-2에서는 주어진 입력 자료를 이용하여  $m$ 구간별  $k$ 값별로 추정모형 식의 파라미터를 최적화한다. 최적화 방법은 앞서 Step 0에서 제시한 바와 같이 배경교통량의 적용유무에 따라 달라진다. Step 1-3에서는 최적화된 추정모형 식의 파라미터를 이용하여 관측  $m$ 구간별  $k$ 값별 AADT( $\hat{q}_{m,k}$ )를 추정한다. 마지막으로 Step 1-4에서는 추정된  $\hat{q}_{m,k}$ 와 실제 관측교통량( $\hat{q}_m$ )을 이용하여  $m$ 구간별  $k$ 값별 추정오차( $\varepsilon_{m,k}$ )를 산출한다.

Given  $p_m, q_m, X_{m,k} = [x_{m,1}, x_{m,2}, \dots, x_{m,k}]$ ,  $x = [p, q, c]$ ,  $c = \{ci, pd, ed\}$   
 $\forall m, k, m \in M, k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$

### Step 1-1: Selecting KNN method

If  $c = ci$  then KL-CI model  $\rightarrow$  KNN DB( $ci$ )  
 If  $c = pd$  then KL-PD model  $\rightarrow$  KNN DB( $pd$ )  
 If  $c = ed$  then KL-ED model  $\rightarrow$  KNN DB( $ed$ )

### Step 1-2: Optimization of Parameters $\forall m, k$

If KL<sub>NB</sub> model = true then  
 - Calculate  $\hat{e}_{m,k}$  by eq.(3-10) and eq.(3-12) and fig.<3-15>  
 Else(KL<sub>B</sub> model = true then)

- Calculate  $\hat{e}_{m,k}, \hat{q}_{m,k,b}$  by eq.(3-11) and eq.(3-12)~(3-13) and fig.<3-16>

**Step 1-3: Estimation of AADT,  $\hat{q}_{m,k} \quad \forall m, k$**

- Given  $p_m, \{ \hat{e}_{m,k} \text{ or } \hat{e}_{m,k}, \hat{q}_{m,k,b} \}$
- Calculate  $\hat{q}_{m,k}$  by eq.(3-10) or eq.(3-11)

**Step 1-4: Calculation of Estimation error,  $\varepsilon_{m,k} \quad \forall m, k$**

- Given  $q_m, \hat{q}_{m,k}$
- Calculate  $\varepsilon_{m,k}$  by eq.(3-16)

<그림 3-16> 전체 관측구간에 대한  $k$ 값별 추정오차 산출 알고리즘(Step 1)

**③Step 2: Global  $k$ 값의 최적화 알고리즘**

Step 2에서는 다음 단계의 Local  $k$ 값( $k_t^o$ )을 최적화하기 위하여 Global  $k$ 값( $k_g^o$ )을 최적화하는 단계이다. 세부적인 산출과정은 <그림 3-17>과 같이 총 2단계에 걸쳐 수행된다. Step 2-1에서는 Step 1에서 산출한 전체  $M$ 개의 관측구간을 대상으로  $m$ 구간별( $\forall m, m \in M$ )  $k$ 값별 추정오차( $\varepsilon_{m,k}$ )를 이용하여  $k$ 값( $\forall k, k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$ )별 평균 추정오차( $\varepsilon_{g,k}$ )를 산출한다. Step 2-2에서는 이전 단계에서 산출된  $k$ 값별 평균 추정오차에서 오차가 최소가 되는 Global  $k$ 값을 결정한다.

Given  $\varepsilon_{m,k} \quad \forall m, k, m \in M, k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$

**Step 2-1: Calculation of Mean estimation error,  $\varepsilon_{g,k}$**

- Given  $\varepsilon_{m,k} \quad \forall M, k$
- Calculate  $\varepsilon_{g,k}$  by eq.(3-17)  $\forall k$

**Step 2-2: Determination of Global  $k(k_g^o)$**

- Given  $\varepsilon_{g,k} \quad \forall k$
- $k_g^o = \operatorname{argmin} \varepsilon_{g,k}, k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$

<그림 3-17> Global  $k$ 값의 최적화 알고리즘(Step 2)

#### ④Step 3: 주어진 대상구간( $t$ )에 대한 Local $k$ 값의 최적화 알고리즘

Step 3에서는 다음 단계에서 주어진 미관측 대상구간( $t$ )의 AADT를 추정하기 위하여 Local  $k$ 값( $k_t^o$ )을 최적화하는 단계이다. 세부적인 산출과정은 <그림 3-18>과 같이 총 2단계에 걸쳐 수행된다. Step 3-1에서는 Step 2에서 산출한 Global  $k$ 값( $k_g^o$ )을 이용하여 주어진 대상구간( $t$ )으로부터 인접한  $k_g^o$ 개의 관측구간을 추출한다. 추출된  $j$ 개( $\forall j, j \in k_g^o$ )의 관측구간에 대한 구간  $j$ 별  $k$ 값( $\forall k, k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$ )별 추정오차( $\varepsilon_{t,j,k}$ )를 모두 이용하여 대상구간의  $k$ 값별 평균 추정오차( $\varepsilon_{t,k}$ )를 산출한다. Step 3-2에서는 이전 단계에서 산출된 대상구간의  $k$ 값별 평균 추정오차에서 오차가 최소가 되는  $k_t^o$  값을 결정한다.

Given Target Link's  $k_g^o, \varepsilon_{t,j,k}, \hat{q}_{t,j,k}, q_{t,j} \quad \forall j, k, j \in k_g^o, k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$

##### Step 3-1: Calculation of Mean estimation error, $\varepsilon_{t,k}$

- Given  $\varepsilon_{t,j,k}, \hat{q}_{t,j,k}, q_{t,j} \quad \forall j, k$
- Calculate  $\varepsilon_{t,k}$  by eq.(3-18)  $\forall k$

##### Step 3-2: Determination of Local $k(k_t^o)$

- Given  $\varepsilon_{t,k} \quad \forall k$
- $k_t^o = \operatorname{argmin} \varepsilon_{t,k}, k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$

<그림 3-18> 주어진 대상구간의 Local  $k$ 값 최적화 알고리즘(Step 3)

#### ⑤Step 4: 주어진 대상구간( $t$ )에 대한 AADT 추정 알고리즘

Step 4에서는 최종적으로 주어진 대상구간( $t$ )의 AADT( $\hat{q}_t$ )를 추정하는 단계이다. 먼저, 입력 자료는 대상구간의 연평균 일프로브통행량은  $p_t$ , 대상구간과 인접한  $k$ 개( $\forall k, k \in k_t^o$ )의 관측구간에 대한 최종 군집의 KNN DB를  $X_{t,k}$ 로 정의하며,  $X_{t,k}$ 는  $X_{t,k} = [x_{t,1}, x_{t,2}, \dots, x_{t,k}]$ ,  $x = [p, q, c]$ ,  $c = \{ci, pd, ed\}$ ,  $\forall k, k \in k_t^o$ 로 정의한다.

세부적인 산출과정은 <그림 3-19>과 같이 총 2단계에 걸쳐 수행된다. Step 4-1에서는 주어진 입력 자료를 이용하여 대상구간의 추정모형 식에 대한 파라미터를 최적화한다. 최적화 방법은 Step 0에서와 같이 배경교통량의 적용유무에 따라 달라진다. Step 4-2에서는 최적화된 추정모형식의 파라미터를 이용하여 대상구간의 AADT( $\hat{q}_t$ )를 추정한다.

Given Target Link's  $p_t$ ,  $X_{t,k} = [x_{t,1}, x_{t,2}, \dots, x_{t,k}]$ ,  $x = [p, q, c]$ ,  $c = \{ci, pd, ed\}$   
 $\forall k, k \in k_t^o$

**Step 4-1: Optimization of Parameters**

If  $KL_{NB}$  model = true then

- Calculate  $\hat{e}_t$  by eq.(3-4) and eq.(3-6) and fig.<3-15>

Else( $KL_B$  model = true then)

- Calculate  $\hat{e}_t, \hat{q}_{t,b}$  by eq.(3-5) and eq.(3-6)~(3-7) and fig.<3-16>

**Step 4-2: Estimation of AADT,  $\hat{q}_t$**

- Given  $p_t, \{\hat{e}_t \text{ or } \hat{e}_t, \hat{q}_{t,b}\}$

- Calculate  $\hat{q}_t$  by eq.(3-10) or eq.(3-11)

<그림 3-19> 주어진 대상구간의 AADT 추정 알고리즘(Step 4)

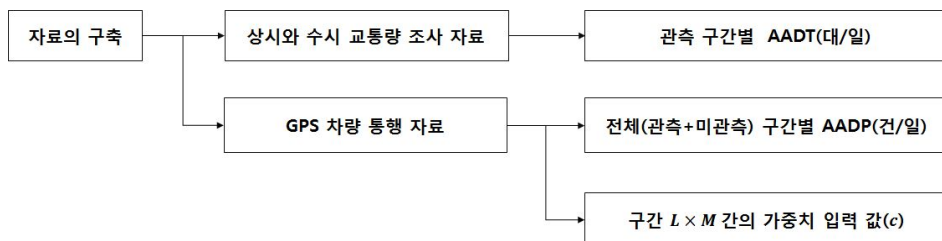
## 제4장 자료의 구축 및 특성 분석

### 제1절 구축 개요

본 개발모형의 추정력은 데이터를 기반으로 하는 모형의 특성 상 입력 자료의 양과 질 그리고 자료에 포함되어 있는 정보의 다양성에 의존하게 된다. 본 연구에서 활용하는 GPS 차량 통행 자료는 이러한 데이터 조건을 만족할 만큼의 정확도가 높은 자료라고 할 수 있다.

GPS 차량 통행 자료와 더불어 본 개발모형에서 필요로 하는 자료는 공간적 범위 내 상시 또는 수시교통량 조사 자료이다. 먼저 교통량 조사 자료는 전체 관측구간을 대상으로 구간별 연평균 일교통량(AADT, 대/일) 기준으로 자료를 구축한다. 그리고 GPS 차량 통행 자료는 관측구간을 포함한 전체 도로구간을 대상으로 구간별 연평균 일프로브통행량(AADP, 건/일)으로 구축하며, 해당 자료를  $L \times M$ 차원의 행렬의 형태로 가중치 입력 값( $c$ )으로 구축한다. 여기서,  $L$ 은 전체 대상구간의 개수이며,  $M$ 은 전체 대상구간 중 관측구간의 개수이다.

가중치 입력 값( $c$ )은  $c = \{ci, pd, ed\}$ 로 정의하며, 앞서 설명한 3가지의 KNN 추출방법 따라 산출된 값을 말한다. 지금까지 설명한 자료의 구축 과정은 <그림 4-1>과 같으며, 본 장은 구축 개요, 자료의 구축 방법, 자료의 특성 분석으로 구성된다.



<그림 4-1> 자료의 구축 과정



## 제2절 자료의 구축 방법

### 1. 관측교통량(AADT) 자료 구축방법

상시 또는 수시 교통량조사 자료는 본 연구의 공간적 범위 내 고속도로와 일반도로로 구분하여 구축한다. 해당 자료는 국토교통부에서 제공하고 있는 2014년 기준의 도로교통량 조사 자료를 이용한다. 조사 자료 중 상시조사 지점이 포함되어 있는 고속도로와 일반국도의 도로교통량 조사 자료를 이용한다. 본 연구의 공간적 범위 내 교통량 자료의 현황은 <표 4-1>과 같다.

<표 4-1> 공간적 범위 내 교통량 자료의 현황(2014년 기준, 단위: 지점 수)

구분		수시조사	상시조사	계
지역간 도로 (전국)	고속도로	310	200	510
	일반국도	977	621	1,598
계		1,287	821	2,108

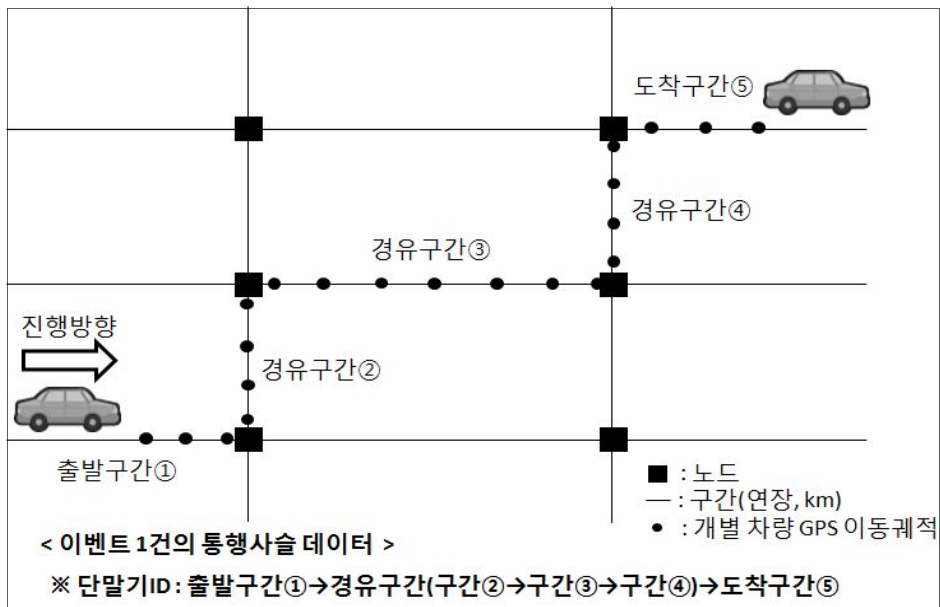
위의 교통량 조사지점은 해당 구간의 상/하행 방향이 포함된 양방향 기준이므로 전체 관측 구간의 개수는 총 4,216개가 된다. 따라서 본 연구의 도로구간별 AADT 자료의 구축 형태는 <표 4-2>와 같다.

<표 4-2> 도로구간별 AADT 자료의 구축 형태

구간	도로등급	AADT(대/일)
1	고속도로	72,753
2	일반도로	17,424
3	고속도로	50,007
⋮	⋮	⋮
M=4,216	일반도로	37,586

## 2. 차량 GPS 통행 자료(AADP, 가중치 입력값) 구축방법

차량용 내비게이션에서 수집되는 GPS 차량 통행 자료는 <그림 4-2>와 같이 1초 단위의 개별 이동궤적을 GIS상의 도로구간 단위로 매칭 하여 수집된다. 수집된 개별 통행 자료는 수집시간 순서에 따라 이동한 구간을 연결하여 차량별 통행사슬 데이터로 구축한다. 즉, 이 데이터는 이벤트 발생 시 개별 차량별로 출발구간→경유구간→도착구간의 데이터 구조로 구축되며, 2014년 1년 동안 발생하는 모든 이벤트 자료에 대하여 개별 차량별로 통행사슬 데이터를 구축한다.



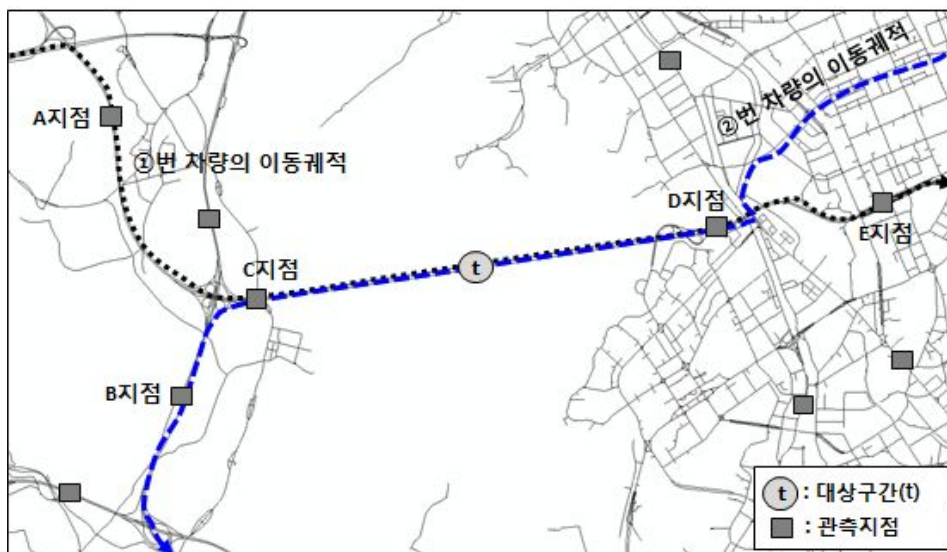
<그림 4-2> 개별 통행사슬 데이터 생성 개념

주어진 대상구간을 개별 통행사슬 데이터의 이벤트 건수를 2014년 기준으로 1년 동안 누적하여 365로 나눈 값이 해당 대상구간의 AADP(건/일)가 된다. 이러한 방법으로 전체 M개의 각 도로구간을 대상으로 확장하여 적용하면 <표 4-3>과 같이 도로구간별 AADP 자료를 구축할 수 있다.

<표 4-3> 도로구간별 AADP 자료의 구축 형태

구간	도로등급	AADP(건/일)
1	고속도로	1,457
2	일반국도	609
3	고속도로	1,395
⋮	⋮	⋮
$L-1$	일반국도	734
$L$	고속도로	1,585

앞서 설명한 개별 차량별 통행사슬 데이터를 공간적 범위 내 주어진 대상구간( $t$ )을 기준으로 확대하여 살펴보면, <그림 4-3>에서 보는 바와 같이 대상구간을 통과하는 차량 2대의 통행사슬 데이터를 확인할 수 있다. ①번 차량의 경우는 A지점 구간→C지점 구간→대상구간→D지점 구간→E지점 구간으로 해당 대상구간을 통과하면서 4개의 관측지점을 경유하고 있으며, ②번 차량의 경우는 D지점 구간→대상구간→C지점 구간→B지점 구간으로 해당 대상구간을 통과하면서 3개의 관측지점을 경유하고 있다.



<그림 4-3> 가중치 입력 값의 생성 개념

여기서, 주어진 대상구간별로 각 관측구간을 통과하는 개별 통행사슬 데이터를 이용하여 각 가중치 입력 값( $c$ )을 산출할 수 있다. 먼저, 주어진 대상구간을 기준으로  $ci$ 는 대상구간과 인접한  $k$ 개의 관측지점 간을 통과하는 차량의 누적빈도수(건)를 말하며, <그림 4-3>에서는 A, B, E 지점은 각각 1건씩, C와 D지점의 경우는 각 2건으로 누적이 된다.  $pd$ 는 대상구간과 인접한  $k$ 개의 관측지점 간 최단경로거리(km)를 말하며, 대상구간과 각 관측지점을 통과하는 전체 통행사슬 데이터 중 두 구간의 경로거리가 가장 짧은 경로거리를 산출한다. 마지막으로  $ed$ 는 앞서 설명한 개별 통행사슬데이터와는 상관없이 대상구간과 각 관측지점 간 GIS상의 평면좌표를 이용하여 직선거리(km)를 산출하면 된다.

이러한 방법으로 전체  $L$ 개의 대상구간과  $M$ 개의 관측구간을 대상으로 확장하여 적용하면 <표 4-4>과 같이  $L \times M$ 차원의 행렬로 가중치 입력 값( $c$ )을 구축할 수 있다. 여기서, 가중치 입력 값은  $c = \{ci, pd, ed\}$ 로 3가지의 형태가 되며, 해당 자료는 본 연구의 KL모형에서 대상구간별 KNN DB를 구축하기 위한 입력 자료로 이용된다.

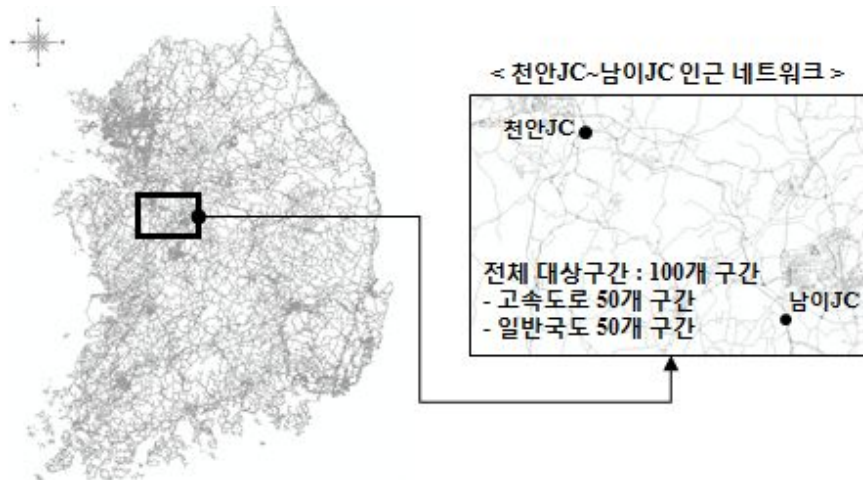
<표 4-4> 가중치 입력 값( $c$ )에 대한 자료의 구축 형태

$i \backslash j$	1	2	...	$m$	...	$M$
1	-	$c_{1,2}$	...	$c_{1,m}$	...	$c_{1,M}$
2	$c_{2,1}$	-	...	$c_{2,m}$	...	$c_{2,M}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$l$	$c_{l,1}$	$c_{l,2}$	...	$c_{l,m}$	...	$c_{l,M}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$L$	$c_{L,1}$	$c_{L,2}$	...	$c_{L,m}$	...	$c_{L,M}$

### 3. 성능평가를 위한 입력 자료의 구축

본 절에서는 3장에서 개발한 KL모형의 성능평가를 위하여 입력 자료를 구축한다. 성능평가에는 모형에 의해서 추정된 교통량과 실제 관측교통량과의 오차를 비교해야하기 때문에 대상구간의 관측교통량이 존재해야 한다. 따라서 성능평가를 위한 공간적 범위는 사례분석 구간 내 관측조사 지점을 미관측 구간이라고 가정하고 각 관측구간을 대상으로 입력 자료를 구축한다. 먼저 입력 자료를 구축하기 전에 사례분석 대상구간의 선정이 선행되어야 한다. 구간별 KNN DB 구축 시  $ci$ ,  $pd$ ,  $ed$ 와 같이 3가지의 KNN 추출방법을 이용하기 때문에 이 방법들에 대한 적용의 차이를 평가하기 위해서는 이용차량들 간의 다양한 경로가 존재하는 네트워크 단위의 사례분석 대상구간으로 선정해야 한다.

따라서 본 연구의 사례분석을 위한 대상 네트워크는 <그림 4-4>에서 보는 바와 같이 상시조사 지점이 포함되어 있는 천안JC~남이JC 인근 지역의 고속도로와 일반국도를 포함하는 네트워크로 선정하였다.



<그림 4-4> 사례분석 네트워크의 위치도

위의 사례분석 네트워크는 경부고속도로, 천안논산고속도로, 중부고속도로와 더불어 일반국도 1호선, 17호선, 21호선, 23호선, 25호선, 36호선 등이 포함되어 있어 도로 간 다양한 이동경로가 존재한다. 사례분석 범위 내 총 대상구간은 100개 구간으로 고속도로 50개 구간, 일반국도 50개 구간으로 구성되어 있다. 따라서 성능평가를 위한 입력 자료의 구축 범위는 사례분석 네트워크의 범위 내 전체 100개 구간을 대상으로 구간별 AADP, AADT, KNN DB를 구축한다.

본 연구의 성능평가를 위한 입력 자료는 사례분석 네트워크 범위 내 전체  $N$ 개( $N=100$ )의 대상구간에 대하여 각  $n$ 구간별( $\forall n, n \in N$ ) 연평균 일프로브통행량(AADP)은  $p_n$ , 연평균 일교통량(AADT)는  $q_n$ , 각 대상구간과 인접한  $k$ 개의 관측구간에 대한 KNN DB는  $X_{n,k}$ 로 정의한다. 여기서,  $X_{n,k}$ 는  $X_{n,k} = [x_{n,1}, x_{n,2}, \dots, x_{n,k}]$ ,  $x = [p, q, c]$ ,  $c = \{ci, pd, ed\}$ ,  $\forall n, k, n \in N, k \in k_{\max}$ 로 정의한다. KNN DB 중 집합  $c$ 는 KNN의 추출방법으로서  $ci$ ,  $pd$ ,  $ed$ 로 구성된다.  $ci$ 는 주어진 대상구간으로부터  $ci$ 가 많은 관측구간 순으로 첫 번째 관측구간부터  $k$ 구간까지 집합  $X_{n,k}$ 로 정의한다. 여기서,  $ci$ 는 대상구간과 관측구간 간의 통과한 프로브의 누적빈도수(건)를 의미한다.  $pd$ 와  $ed$ 는 주어진 대상구간과 인접한  $k$ 개의 관측구간에 대하여 대상구간으로부터  $pd$  또는  $ed$ 가 짧은 관측구간 순으로 첫 번째 관측구간부터  $k$ 구간까지의 집합  $X_{n,k}$ 로 정의한다. 대상구간별 AADP, AADT, KNN DB에 대한 입력 자료의 구축 형태는 <표 4-5>와 <표 4-6>과 같다.

<표 4-5> 사례분석 구간별 AADP와 AADT 입력 자료의 구축 형태

구간	AADP(건/일)	AADT(대/일)
1	228	22,787
2	310	28,369
3	121	14,011
⋮	⋮	⋮
$N$	333	32,025

<표 4-6> 사례분석 구간별 KNN 입력 자료의 구축 형태

구간	AADP( $p$ )				
	1	2	3	...	$k_{\max}$
1	215	286	310	...	340
2	212	256	228	...	1,456
3	153	255	208	...	70
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	...	$\vdots$
$N$	334	323	322	...	221

구간	AADT( $q$ )				
	1	2	3	...	$k_{\max}$
1	19,989	30,133	28,369	...	44,238
2	18,025	28,338	22,787	...	70,918
3	15,770	29,617	14,515	...	10,545
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	...	$\vdots$
$N$	34,155	32,454	30,748	...	29,550

구간	가중치 입력 값( $c = ci$ 인 경우, 건)				
	1	2	3	...	$k_{\max}$
1	17,494	16,746	11,011	...	696
2	19,172	17,489	11,011	...	930
3	10,386	4,994	4,252	...	432
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	...	$\vdots$
$N$	86,650	28,296	28,277	...	602

### 제3절 자료의 특성 분석

본 연구의 자료에 대한 특성 분석은 AADP와 AADT의 상관관계, 입력 자료의 거시적 및 미시적 분석으로 구분하여 수행한다.

#### 1. AADP와 AADT의 상관관계

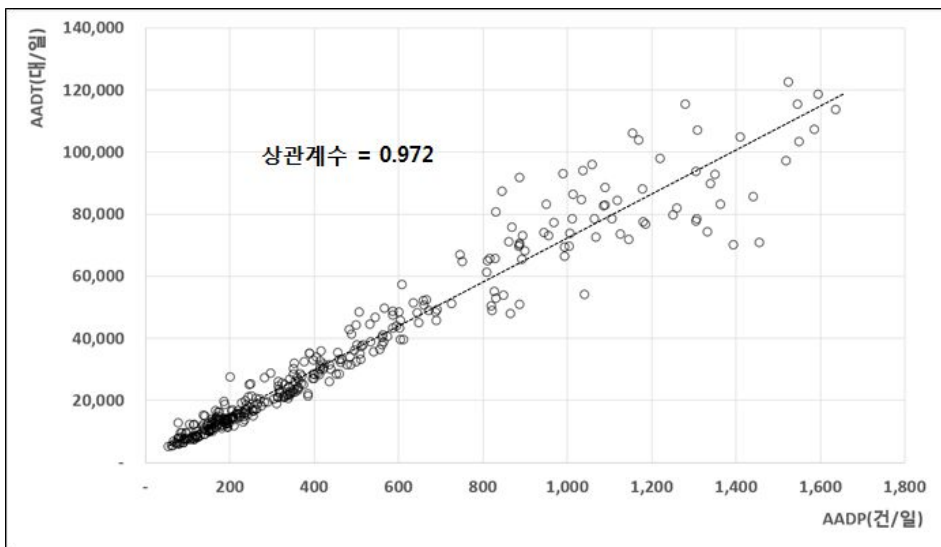
본 연구의 AADT 추정모형은 비 모수 분석방법 중에 하나인 KNN 기법과 국부 가중선형회귀모형의 LWLR모형이 결합된 KL모형으로 개발하였다. 추정모형 식은 앞서 설명한 바와 같이  $AADT(q)$ 를 종속변수,  $AADP(p)$ 를 예측변수로 하는 1차 선형 식의 형태이다. 즉, 두 변수가 선형관계라는 전제 하에 성립이 되는 모형의 형태이므로 두 변수 사이에 어떠한 상관관계가 존재하는지 상관분석을 수행하였다. 이러한 상관분석은 두 변수의 변화량에 대한 변화 방향과 상관관계에 대한 정도를 측정하는 방법을 말하며, 먼저 두 변수의 산포도 그래프(Scatter diagram)를 그리고 피어슨의 적률상관계수(Pearson's product moment correlation coefficient)를 산출하였다.

상관관계 분석을 위한 입력 자료는 2014년 기준 전국 지역간 도로 중 고속도로와 일반국도의 상시조사 지점에 해당하는 도로구간들의 AADP와 AADT 자료를 이용하였다. 상관관계 분석결과는 <그림 4-5>와 <그림 4-6>에서 보는 바와 같이 공간적 범위 내 모든 도로구간에서 두 변수가 양의 방향으로 아주 높은 선형관계를 가지는 것으로 분석되었다. 즉, 본 연구의 추정 모형 식에 대한 전제 조건이 성립되는 것으로 분석되었다. 여기서, 보통 상관계수가 0.9이상이면 아주 높은 선형관계를 가진다고 말한다.

고속도로의 경우, <그림 4-5>에서 보는 바와 같이 상관계수가 0.972로 산출되어 두 변수가 양의 방향으로 강한 선형관계를 가지는 것으로 분석되었다. 고속도로의 AADP는 55건/일~1,637건/일, AADT는 5,075대/일~122,621대/일의 통행량 분포를 보이고 있다. 이는 전국 도시부와 지방부를

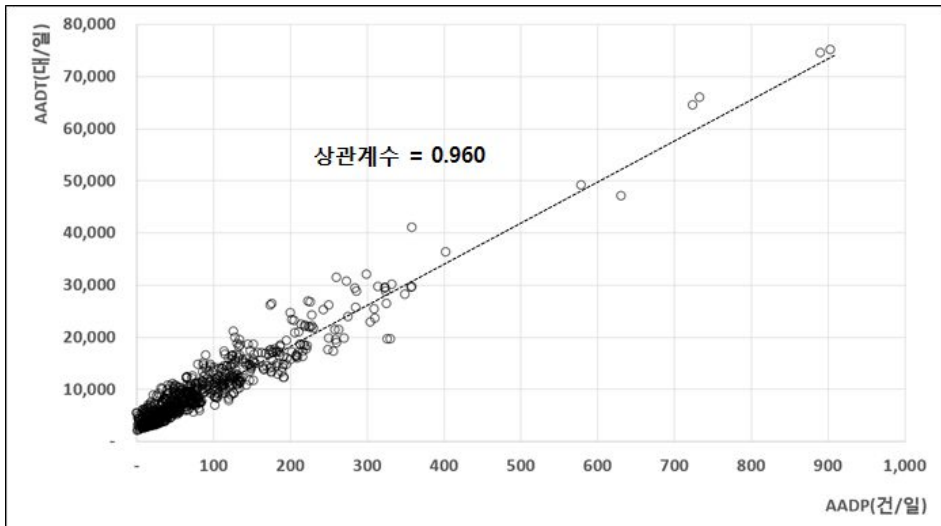


통과하는 고속도로에 해당되므로 AADP와 AADT의 통행량 분포의 차이가 큰 것으로 나타났다. 동일한 AADP 기준에서 AADT의 변동성은 지역별 도로구간의 교통 특성으로 인한 배경교통량의 차이라고 볼 수 있으며, 반대로 동일한 AADT 기준에서 AADP의 변동성은 지역별로 발생하는 차량용 내비게이션의 이용 빈도의 차이라고 볼 수 있다. 따라서 지역별로 발생하는 이 두 가지의 변동성을 본 개발모형은 모두 고려해야 한다.



<그림 4-5> AADP와 AADT의 상관관계(고속도로)

일반국도의 경우도 <그림 4-6>에서 보는 바와 같이 고속도로와 유사하게 상관계수가 0.960으로 산출되어 두 변수가 양의 방향으로 강한 선형관계를 가지는 것으로 분석되었다. 전체적으로 AADP와 AADT가 고속도로 보다는 낮은 수준이며, AADT 수준이 20,000대/일 미만의 도로구간이 전체 구간에 93.8%로 나타났다. 이는 전국적으로 지방부를 통과하는 낮은 교통량 수준의 일반국도 도로구간들이 포함되어 있기 때문이다. 그리고 동일한 AADP와 AADT의 기준에서 각각의 다른 변수의 지역별 변동성은 고속도로보다는 크지 않으나, 지역별 개별 도로구간 단위로 발생하는 교통 특성의 차이를 본 개발모형은 고려해야 한다.



<그림 4-6> AADP와 AADT의 상관관계(일반국도)

두 변수가 양의 방향으로 아주 높은 상관관계를 가진다는 것은 해당 대상구간의 AADP가 한 단위 증가 또는 감소할 경우, 그 비율만큼 비례적으로 AADT도 증가 또는 감소한다는 것을 의미한다. 이는 개발모형이 1차 선형의 형태로서 추정 모형 식의 기울기를 산출하기 위한 가장 기본이 되는 전제조건이 된다. 또한, AADP 자료는 대상구간을 통과하는 전체 차량 중 특정 내비게이션을 이용하는 차량들의 표본이므로 대상구간의 프로브가 존재하지 않더라도 기본적으로 해당 구간을 통과하는 차량들이 존재한다. 이를 대상구간의 배경교통량이라고 하며, AADT 자료에는 모두 배경교통량이 포함되어 있다. 즉, 동일한 AADP 기준에서 AADT의 차이가 보여 지는 것은 개별 도로구간의 배경교통량 차이라고 볼 수 있으며, 그 반대의 경우는 지역별로 발생하는 차량용 내비게이션 이용 빈도의 차이이라고 볼 수 있다. 따라서 본 개발모형은 이와 같은 차이에 대한 분석을 위하여 추정모형 식의 배경교통량 적용 유무에 따라 추정모형을 세분화하였으며, 지역별 개별 도로구간의 교통 특성을 반영할 수 있는 국부 가중선형회귀모형의 형태로 개발하였다.

## 2. 입력 자료의 거시적 분석

본 연구의 거시적 분석은 전역적인 추정모형을 적용하는 분석으로 공간적 범위 내 전체 도로구간의 입력 자료를 이용하여 하나의 추정모형식을 구축하고 이 식을 이용하여 각 구간별 AADT를 추정하는 분석방법을 말한다. 즉, 본 모형은 종속변수를 AADT, 예측변수를 AADP로 적용하며, 사례분석 범위 내 전체  $N$ 개( $N=100$ )의 입력 자료를 이용하여 각 구간별 AADT를 추정하였다. 여기서, 입력 자료는 각  $n$ 구간별( $\forall n, n \in N$ ) AADP( $x_n$ )와 AADT( $y_n$ ) 자료를 이용하였다. 그리고 배경교통량(절편)의 적용 유무에 따라 추정모형을  $y = ax$ 와  $y = ax + b$ 의 두 가지 형태로 적용하였다. 두 모형 식의 회귀계수(기울기, 절편) 산출방법은 일반적으로 이용되고 있는 최소자승법을 적용하였다.

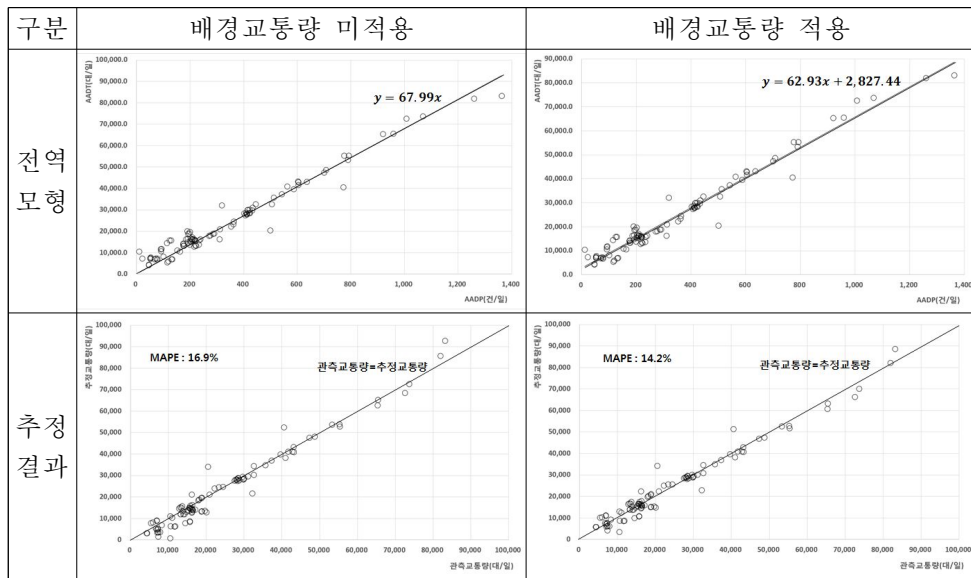
거시적 분석 결과, <그림 4-7>에서 보는 바와 같이 배경교통량을 적용하지 않는 경우는 추정모형 식이  $y = 67.99x$ 로 구축되었으며, 이 식으로 대상구간별 AADT를 추정한 결과는 관측교통량 대비 추정교통량의 MAPE가 16.9%로 분석되었다. 그리고 배경교통량을 적용한 경우는 추정모형 식이  $y = 62.93x + 2,827.44$ 로 구축되었으며, 이 식으로 대상구간별 AADT를 추정한 결과는 관측교통량 대비 추정교통량의 MAPE가 14.2%로 분석되었다.

두 모형의 AADT 추정오차가 14.2~16.9%의 수준으로 본 연구에서 요구하고 있는 허용오차 수준( $\pm 12\%$  이내)<sup>7)</sup>에 만족하지는 못하며, 공간적 범위 내 전체 도로구간에 대하여 하나의 모형 식으로 구간별 AADT를 추정함으로서 개별 도로구간의 특성을 제대로 반영하지 못하여 이로 인해 오차가 발생한 것으로 판단된다. 또한 배경교통량의 적용 유무에 따른 추정 결과는 배경교통량을 적용하지 않는 모형보다 배경교통량을 적용한 모형의 추정력이 더 우수한 것으로 분석되었다. 하지만 이 결과는

---

7) 본 연구에서 요구하는 허용오차 수준( $\pm 12\%$  이내)에 대한 산출 과정은 5장 개발모형의 적용 및 평가에 제시되어 있음.

도로구간별 특성을 반영하고 있는 국부적인 공간 패턴을 고려하지 않아 전역적인 차원에서의 두 모형에 대한 추정결과와의 차이는 큰 의미는 없다. 따라서 이러한 결과는 전역적인 추정 모형이 아니라 공간의 이질성 문제와 개별 도로구간의 교통 특성을 모두 고려할 수 있는 미시적인 단위의 국부적인 추정부형으로 개발해야 한다는 것을 의미한다.



<그림 4-7> 자료의 거시적 분석 결과(전체 사례분석 구간 대상)

### 3. 입력 자료의 미시적 분석

본 연구의 미시적 분석은 앞서 설명한 전역적인 추정부형이 아니라 개별 도로구간 단위의 국부적원 추정부형을 이용하여 공간적 범위 내 구간별로 모형 식을 구축하고 각 모형 식으로 구간별 AADT를 추정하는 분석 방법을 말한다. 즉, 사례분석 범위 내 전체  $N$ 개의 대상구간에 대하여 본 연구에서 개발한 6가지 형태의 KL모형을 각각 적용한 후,  $n$ 구간별( $\forall n, n \in N$ ) AADT를 추정하였다. 여기서, 입력 자료는  $n$ 구간별 AADP는  $p_n$ , AADT는  $q_n$ , 각 해당 대상구간과 인접한  $k$ 개의 관측구간에 대한 KNN

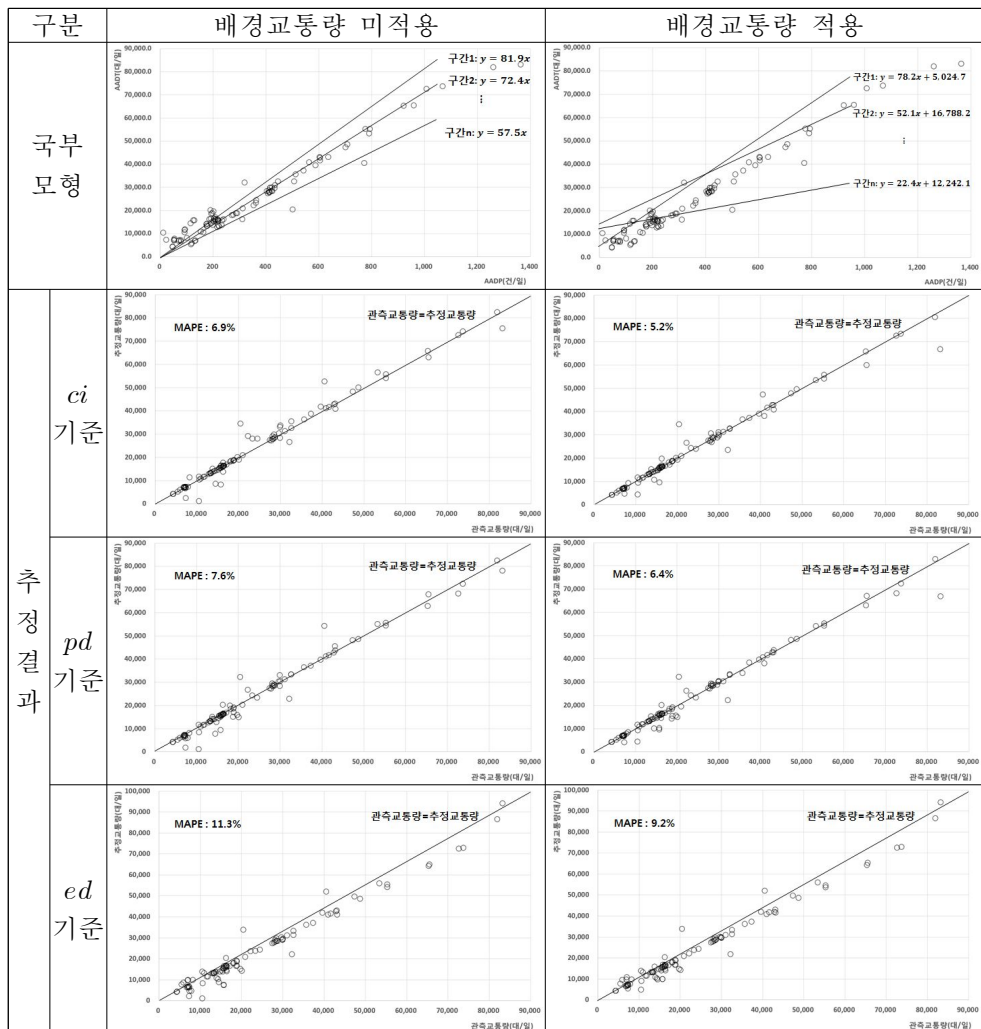
DB는  $X_{n,k}$ 로 정의한다.  $X_{n,k}$ 는  $X_{n,k} = [x_{n,1}, x_{n,2}, \dots, x_{n,k}]$ ,  $x = [p, q, c]$ ,  $c = \{ci, pd, ed\}$ ,  $\forall n, k, n \in N, k \in k_{\max}$ 로 정의한다. KNN DB 중 집합  $c$ 는 KNN의 추출방법으로서  $ci, pd, ed$ 로 구성된다.

미시적 분석 결과, 먼저 <그림 4-8>에서 보는 바와 같이 하나의 전역 추정모형 식이 아닌 배경교통량의 적용 유무와 KNN 추출방법에 따라 6가지 형태의 KL모형을 이용하여 전체 대상구간별로 추정모형 식을 구축하였다. 다음으로 각 구간별로 구축한 추정모형 식을 이용하여 AADT를 추정한 결과는 배경교통량을 적용하지 않는 경우, 연결성지수 기준은 MAPE 6.9%, 최단경로거리 기준은 MAPE 7.6%, 유클리디안거리 기준은 MAPE 11.3%로 분석되었다. 그리고 배경교통량을 적용한 경우, 연결성지수 기준은 MAPE 5.2%, 최단경로거리기준은 MAPE 6.4%, 유클리디안거리 기준은 MAPE 9.2%로 분석되었다.

각 적용모형별 AADT의 추정오차가 5.2~11.3%의 수준으로 분석되어 본 연구에서 요구하고 있는 허용오차 수준( $\pm 12\%$  이내)에 만족하는 것으로 나타났다. 또한 앞서 설명한 전역적인 추정모형 보다 전체적으로 우수한 추정력을 보이는 것으로 나타났다. 이는 거시적인 추정모형과는 달리 개별 도로구간의 특성을 반영하기 위하여 대상구간별로 국부적인 공간 패턴을 탐색 및 추출하는 미시적인 KL모형의 특성이 반영된 결과인 것으로 판단된다. 추정모형 식의 배경교통량 적용 유무에 따른 결과를 살펴보면, 동일한 KNN 추출방법을 기준으로 배경교통량을 적용하지 않는 경우보다 배경교통량을 적용한 경우가 모형의 추정력이 우수한 것으로 나타났다. 이는 본 연구의 추정모형 식에서 이용하고 있는 예측변수 AADP가 표본 자료이므로 해당 대상구간에 표본이 없더라도 기본적으로 통과하는 배경교통량이 존재하기 때문이다. 또한 지역별 도로의 기능 및 특성에 따라 내비게이션의 이용 빈도가 달라지므로 공간적 범위 내 도로 구간별 배경교통량이 동일하지 않고 다양하게 존재하기 때문이다.

마지막으로 동일한 추정모형 식에서 KNN 추출방법 기준으로 배경교통량의 적용 유무에 따른 추정결과를 살펴보면, 통상적으로 이용하고 있

는 유클리디안거리를 적용한 모형보다 본 연구에서 제안한 연결성지수와 최단경로거리를 적용한 모형이 더 우수한 추정력을 보이는 것으로 나타났다. 이는 주어진 대상구간으로부터 인접한  $k$ 개의 관측구간에 대하여 연결성지수와 최단경로거리가 유클리디안거리 보다 최종 의사결정 군집을 구축하기 위한 대상구간의 국부적인 공간 패턴이 잘 반영된 결과인 것으로 판단된다.



<그림 4-8> 자료의 미시적 분석 결과(전체 사례분석 구간 대상)

## 제5장 개발모형의 적용 및 평가

### 제1절 평가개요

본 장에서는 4장에서 구축한 입력 자료를 이용하여 미관측 도로구간의 AADT를 추정하기 위한 6가지의 KL모형에 대한 성능평가를 수행한다. 평가과정은 <그림 5-1>과 같이 평가 개요, 평가 설계, 파라미터 최적화, 평가결과 분석으로 구성된다. 먼저, 평가 설계는 비교모형 선정, 평가지표 설정, 파라미터 최적화로 구성된다. 파라미터 최적화는 추정모형 식을 구축하기 위한 최종 의사결정 군집의 개수, 즉 주어진 대상구간으로부터 인접한  $k$ 개의 관측구간 개수를 최적화하는 것으로 파라미터 최적화 방법 및 결과를 제시한다. 평가결과 분석은 전체 대상구간의 종합 평가와 더불어 고속도로, 일반국도로 나누어 평가 결과를 제시한다. 마지막으로 소결에서는 각 평가결과에 대한 소결을 설명한다.



<그림 5-1> 개발모형의 평가 과정

## 제2절 평가 설계

### 1. 비교모형 선정

본 개발모형의 성능을 평가하기 위하여 선행연구들에서 적용하고 있는 AADT 추정모형을 비교모형으로 선정해야 하며, 선정된 비교모형의 추정력을 기준(Baseline)으로 하여 본 개발모형의 성능과 비교·분석해야 한다. 본 연구의 비교모형으로는 사례분석 범위 내 전체 대상구간에 대하여 하나의 선형회귀모형 식으로 구간별 AADT를 추정하는 ①전역 선형회귀(Globally linear regression, 이하 GLR)모형과 AADP와 AADT의 상관관계만을 이용하여 대상구간의 AADT를 추정하는 ②AADP 기반 공간 가중평균(Spatial weighted average, 이하 SWA)모형을 선정하였다.

먼저, GLR모형은 추정모형 식에 배경교통량을 고려하는  $KL_B$ 모형과의 비교·분석을 위하여 본 연구의 비교모형으로 선정하였다. 그리고 공간의 이질적인 문제를 고려하는 GWR모형을 적용한 선행연구들에서는 비교모형으로 전역의 GLR모형을 기본적으로 선택하고 있다(Zhao and Park, 2004; Selby and Kockelman, 2013). 따라서 본 연구의 KL모형은 개별 도로구간 단위의 추정모형 식을 구축하는 국부 가중선형회귀모형의 형태이므로 관련 선행연구들과 동일하게 하나의 추정모형 식을 구축하는 전역의 GLR모형을 비교모형으로 선정하였다. GLR모형의 산출 식은 식(5-1)과 같으며, 종속변수( $Y$ )는 AADT, 설명변수( $X$ )는 AADP, 오차항( $\varepsilon_i$ )은 설명변수가 설명하지 못하는 종속변수의 편차로서 평균은 0이며, 분산은  $\sigma^2$ 인 정규분포를 가정한다.

$$Y = \alpha + \beta X + \varepsilon, \varepsilon \sim N(0, \sigma^2) \quad \text{식(5-1)}$$

다음으로 SWA모형은 추정모형 식에 배경교통량을 고려하지 않는  $KL_{NB}$ 모형과의 비교·분석을 위하여 본 연구의 비교모형으로 선정하였다. 기존의 크리깅 모형과 같이 공간보간 모형을 적용한 선행연구들에서



는 배경교통량을 고려하지 않고 주어진 대상구간과 인접한 관측 AADT 자료만을 이용하여 공간 거리를 가중치로 적용한 평균값으로 대상구간의 AADT를 추정하였다(Eom et al., 2006, Wang and Kockelman, 2009; Selby and Kockelman, 2013; 하정아, 2013; Shamo et al., 2014). 하지만 본 연구에서는 선행연구와는 다르게 AADP 자료를 예측변수로 이용하고 있기 때문에 단지 종속변수 AADT와 예측변수 AADP의 상관관계만을 고려한 공간 가중평균 방법인 SWA모형을 본 연구의 비교모형으로 선정하였다.

AADP기반의 SWA모형에 대한 산출 식은 식(5-2)와 같으며, 모형의 가중치 함수는 3장에서 제시한 가우시안 함수를 적용하였다. 그리고 대상구간과 인접한  $k$ 개의 관측구간에 대하여 최종 의사결정 군집개수의 최적화 과정이 없기 때문에 통계모형에서 일반적으로 이용되고 있는 유효표본수 30개를 적용하였다. 그리고 공간거리는 일반적으로 이용되고 있는 유클리디안거리를 가중치의 입력 값으로 적용하였다.

$$\hat{q}_t = \sum_{i=1}^k \left( \frac{q_{t,i}}{p_{t,i}} \times w_{t,i} \right) \times p_t \quad \text{식(5-2)}$$

$$\text{s.t. } p_{t,i} > 0 \quad \forall i, i \in k, k = 30$$

여기서,  $\hat{q}_t$  = 대상구간( $t$ )의 추정교통량(대/일)

$p_t$  = 대상구간( $t$ )의 AADP(건/일)

$q_{t,i}$  = 대상구간( $t$ )와 인접한  $i$ 번째 관측구간의 AADT(대/일)

$p_{t,i}$  = 대상구간( $t$ )와 인접한  $i$ 번째 관측구간의 AADP(건/일)

$w_{t,i}$  = 대상구간( $t$ )와 인접한  $i$ 번째 관측구간의 가중치(0~1.0)

## 2. 평가지표 설정

본 연구의 평가지표는 추정결과에 대한 정확도(Accuracy) 측면과 신뢰도(Reliability) 측면으로 구분하여 설정하였다. 먼저 정확도 측면은 관측 교통량과 비교하여 추정교통량이 얼마나 정확하게 추정되었는지에 대한 평가로서 MAPE(%), 적중률(Hit rate, 이하 HR(%))을 평가지표로 설정하였다. 신뢰도 측면은 추정결과의 정확도가 확보된 상태에서 평균 추정 오차를 기준으로 나머지 추정오차 값들이 평균값에서 얼마나 벗어나 있는 지에 대한 평가로서 평균 상대 백분위 오차(Mean relative percentage error, 이하 MRPE(%)), 상대 백분위 오차의 표준편차(Standard deviation relative percentage error, 이하 SDRPE(%))를 평가지표로 설정하였다.

먼저, 정확도 측면의 평가지표 중 MAPE의 산출 방법은 식(5-3)과 같으며, 3장에서 추정모형 식의 파라미터(기울기, 절편) 최적화를 위한 목적함수에도 적용하였다. 여기서, MAPE는 공간적 범위 내 전체 도로구간별 추정교통량의 변화폭이 큰 경우에 직관적이면서 공정한 평가 기준을 제공해 줄 수 있다(Smith et al., 2002).

$$MAPE(\%) = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{|\hat{q}_i - q_i|}{q_i} \right) \times 100}{N} \quad \text{식(5-3)}$$

여기서,  $q_i$  = 대상구간  $i$ 의 관측교통량(대/일)

$\hat{q}$  = 대상구간  $i$ 의 추정교통량(대/일)

$N$  = 전체 대상구간의 개수(개)

다음으로 정확도 측면의 또 다른 평가지표인 HR은 전체 대상구간 중 관측교통량 대비 추정교통량의 오차가 허용오차의 범위 내에 속하는 대상구간의 비율(%)을 말한다. HR에서 중요한 부분은 허용오차의 범위를

설정하는 부분이다. 본 연구에서는 허용오차의 범위를 실제 교통량 자료를 이용하여 평균 AADT 대비 월별 요일별 평균 교통량과의 최대/최소 변동 비율(%)을 적용하였다. 즉, <표 5-1>과 <표 5-2>와 같이 국토교통부 도로교통량 조사 자료에서 제공하고 있는 2014년 기준 전국 상시조사 지점들에 대한 평균 AADT와 월별 요일별 평균 일교통량 자료를 이용하여 두 자료의 차이 값들 중 최소값과 최대값을 기준으로 하여 허용오차 범위를 산출하였다.

그 결과, 두 자료에서 AADT 대비 변동 비율의 차이가 최소인 값은  $-11.7\%[(\frac{11,931}{13,511}-1)\times 100]$ , 최대인 값은  $+11.8\%[(\frac{14,620}{13,511}-1)\times 100]$ 로 산출되어 본 연구의 허용오차 범위를  $\pm 12\%$  이내로 설정하였다. 여기서, 적용모형의 추정오차가 허용오차 범위 이내라는 것은 상시 교통량 조사 자료의 월별 요일별 시계열적 변화의 범위 내의 수준인 것을 알 수 있다.

<표 5-1> 전국 상시조사 지점들에 대한 월별 평균 일교통량

구분		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월
평균 일교통량 (대/일)	고속도로	37,145	37,053	38,424	38,611	40,930	38,320	38,805
	일반국도	12,156	11,931	12,920	13,638	14,281	13,838	13,789
AADT 대비 비율 (%)	고속도로	94.2	93.9	97.4	97.9	103.7	97.1	98.4
	일반국도	90.0	<b>88.3</b>	95.6	100.9	105.7	102.4	102.1
구분		8월	9월	10월	11월	12월	평균 AADT	
평균 일교통량 (대/일)	고속도로	42,523	41,598	41,980	40,432	37,421	39,452	
	일반국도	14,603	14,289	14,318	13,984	12,282	13,511	
AADT 대비 비율 (%)	고속도로	107.8	105.4	106.4	102.5	94.9	100.0	
	일반국도	<b>108.1</b>	105.8	106.0	103.5	90.9	100.0	

주: 음영은 AADT 대비 비율의 최소값과 최대값임.

자료: 교통량 정보제공 시스템 (<http://www.road.re.kr/main/main.asp>)

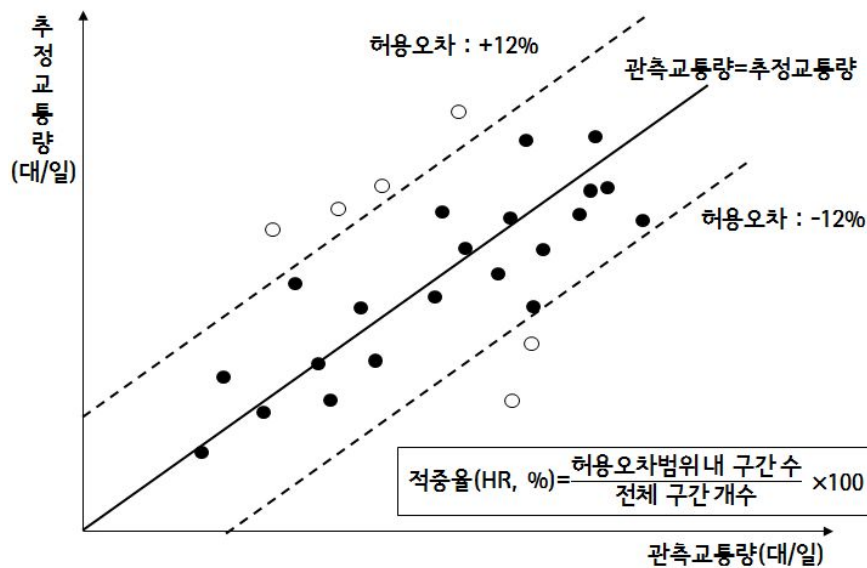
<표 5-2> 전국 상시조사 지점들에 대한 요일별 평균 일교통량

구분		월	화	수	목	금	토	일	평균
평균 일교통량 (대/일)	고속도로	38,079	38,076	37,735	37,671	38,053	42,503	44,089	39,452
	일반국도	12,666	13,400	13,233	13,115	13,237	14,310	14,620	13,511
AADT 대비 비율 (%)	고속도로	96.5	96.5	95.6	95.5	96.5	107.7	111.8	100.0
	일반국도	93.7	99.2	97.9	97.1	98.0	105.9	108.2	100.0

주: 음영은 AADT 대비 비율의 최소값과 최대값임.

자료: 교통량 정보제공 시스템 (<http://www.road.re.kr/main/main.asp>)

위에서 설정한 허용오차 범위(±12%)를 기준으로 HR의 산출 개념은 <그림 5-2>와 같다



<그림 5-2> 적중률(%)의 산출 개념

지금까지 설명한 정확도의 지표가 본 연구의 요구수준에 만족한다면, 그 다음으로 개발모형의 신뢰도를 평가해야 한다. 이러한 신뢰도는 MRPE, SDRPE를 이용하여 평가가 가능하며, 두 평가지표의 산출 식은 식(5-4)~식(5-6)과 같다. 즉, MRPE와 SDRPE의 값이 0에 가까울수록 전체 추정 값들이 평균값에 가까이 있으므로 개발모형의 신뢰도가 높아지는 반면 그 반대의 경우는 전체 추정 값들이 평균값에 벗어나 있으므로 개발모형의 신뢰도는 낮아지게 된다.

$$SDRPE(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (RPE_i - MRPE)^2}{n}} \quad \text{식(5-4)}$$

$$RPE_i(\%) = \left( \frac{\hat{q}_i - q_i}{q_i} \right) \times 100 \quad \text{식(5-5)}$$

$$MRPE(\%) = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\hat{q}_i - q_i}{q_i} \right) \times 100}{N} \quad \text{식(5-6)}$$

여기서,  $RPE_i$  = 대상구간  $i$ 의 상대 백분위 오차(%)

$MRPE_i$  = 전체 대상구간에 대한 상대 평균 백분위 오차(%)

$q_i$  = 대상구간  $i$ 의 관측교통량(대/일)

$\hat{q}_i$  = 대상구간  $i$ 의 추정교통량(대/일)

$N$  = 전체 대상구간의 개수(개)

### 제3절 파라미터 최적화

#### 1. 파라미터 최적화 방법

비모수 모형 중 하나인 KNN기법을 적용한 추정모형은 일반적으로 주어진 대상구간과 인접한  $k$ 개의 이웃을 결정하는 군집의 개수인  $k$ 값에 대한 최적화를 수행해야 한다. 하지만, KNN기법에서  $k$ 값의 최적화를 위한 명확한 방법론은 존재하지 않는다. 따라서 본 연구에서는 주어진 대상구간과 인접한  $k$ 개( $k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$ )의 이웃에 대하여  $k_{\min}$ 개의 군집에서부터  $k_{\max}$ 개의 군집까지 추정오차를 산출하여 이 중 평균 추정오차가 최소화되는 최적의  $k$ 값을 결정하는 방법론을 적용하였다.

본 연구의 최적  $k$ 값은 전역적인 오차 최소화를 목표로 하는 Global  $k$ 값( $k_g^o$ )과 KNN기법으로 국부적인 최적 값을 결정하는 Local  $k$ 값( $k_g^o$ )으로 구분할 수 있다. 이 두 가지의 파라미터를 최적화 하는 이유는 요구되는 허용수준의 오차 범위( $\pm 12\%$ ) 내에서 파라미터 최적 값의 영역을 확대하여 보다 안정적인 추정모형으로 개발하기 위해서이다. 즉, 파라미터가 지나치게 민감하지 않는 경우는 도로구간별 다양한 특성에 대한 설명력이 떨어지게 되며, 파라미터가 지나치게 민감한 경우는 도로구간별 다양한 특성을 고려할 수는 있지만 파라미터의 최적화 과정이 지속적으로 갱신되지 않는다면 추정오차가 증가하기 때문이다.

먼저, Global  $k$ 값의 파라미터 최적화는 대상구간의 최종 의사결정 군집 개수인 Local  $k$ 값을 결정하기 위하여 공통적으로 적용되는 인접한 관측구간의 적정 추출 개수, 즉 Global  $k$ 값을 결정하는 문제이다. 먼저 Global  $k$ 값을 최적화하기 위해서는 전체  $M$ 개의 관측구간에 대하여 관측  $m$ 구간( $\forall m, i \in M$ )별  $k$ 값( $k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$ )별 추정오차( $\varepsilon_{m,k}$ )를 산출해야 한다. 산출된  $\varepsilon_{m,k}$ 를 이용하여  $k$ 값별 평균 추정오차를 산출한다. 산출된  $k$ 값별 평균 추정오차에서 오차가 최소가 되는 Global  $k$ 값을 결정한다.

Local  $k$ 값의 파라미터 최적화는 주어진 미관측 대상구간( $t$ )의 최종 의사결정 군집을 구축하기 위한 것으로, 즉 대상구간과 인접한  $k$ 개의 관측 구간 개수인 Local  $k$ 값을 결정하는 문제이다. 앞서 산출한 Global  $k$ 를 이용하여 대상구간과 Global  $k$ 개의 관측구간을 추출한다. 추출된  $j$ 개 ( $\forall j, j \in k_g^o$ )의 관측구간에 대한 구간  $j$ 별  $k$ 값( $\forall k, k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$ )별 추정오차( $\varepsilon_{t,j,k}$ )를 모두 이용하여 대상구간의  $k$ 값별 평균추정오차( $\varepsilon_{t,k}$ )를 산출한다. 산출된  $k$ 값별 평균 추정오차에서 오차가 최소가 되는 Local  $k$ 값을 결정한다. Global  $k$ 값과 Local  $k$ 값의 파라미터 최적화와 관련된 세부적인 산출과정은 3장의 KL모형의 개발과정을 참조한다.

## 2. 파라미터 최적화 결과

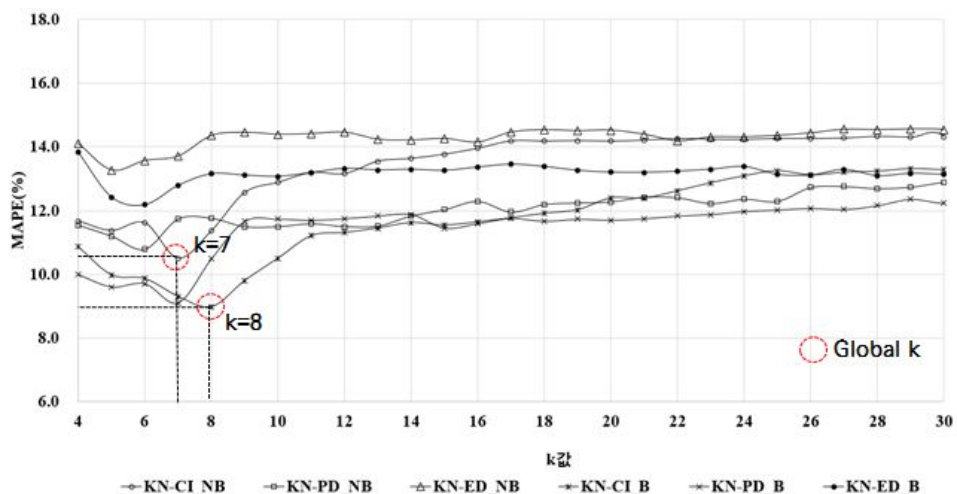
본 연구의 사례분석 범위 내 전체 도로구간을 대상으로 6가지 KL모형에 따라  $k$ 값별 MAPE(%)를 산출한 결과, <그림 5-3>과 같이 최소값이 존재하는 아래로 볼록한 형태의 추세를 보이고 있다. 즉, 최초  $k$ 값이 증가함에 따라 오차는 감소하다가 오차가 최소화 되는  $k$ 값에 도달한 이후 국부적인 차원의 변동으로 인하여 오차는 점진적으로 증가하거나 일정하게 유지되고 있다.

Global  $k$ 값을 적용할 경우, 어떠한 최적의  $k$ 값이 주어지더라도 적용모형의 추정오차는 최소 오차 공간의 범위, 즉 MAPE가 9.0~14.0%의 범위 내에서 결정이 된다. 이는 앞서 모형개발을 위한 요구조건 분석에서 제시한 파라미터 최적 값의 영역을 확대하여 보다 안정적인 추정모형으로 개발되어야 한다는 요구조건을 만족하는 결과라고 볼 수 있다.

또한 각 적용모형별로 동일한 KNN 추출방법을 적용한 기준으로 볼 때, 배경교통량을 적용하지 않는 경우보다 배경교통량을 적용한 경우가  $k$ 값별 MAPE가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 개발모형의 성능 평가 시, 배경교통량을 적용한 개발모형의 추정력이 배경교통량을 적용하지 않는 모형보다 더 우수할 것으로 판단된다. 이와 반대로 동일한 배경교

통량 적용한 모형의 기준으로 볼 때, 통상적으로 이용하고 있는 유클리디안거리를 적용한 모형 보다 본 연구에서 제안한 연결성지수와 최단경로거리를 적용한 모형의 MAPE가 더 낮은 것으로 분석되었다. 이는 본 연구에서 활용하고 있는 입력 자료가 차량용 내비게이션에서 수집되고 있는 GPS 차량 통행 자료이므로 통상적인 유클리디안거리 보다 이동경로 기반의 연결성지수와 최단경로거리를 이용한 KNN추출방법이 각 대상구간별 국부적인 공간 패턴을 보다 더 효과적으로 탐색 및 추출하고 있는 것으로 나타났다.

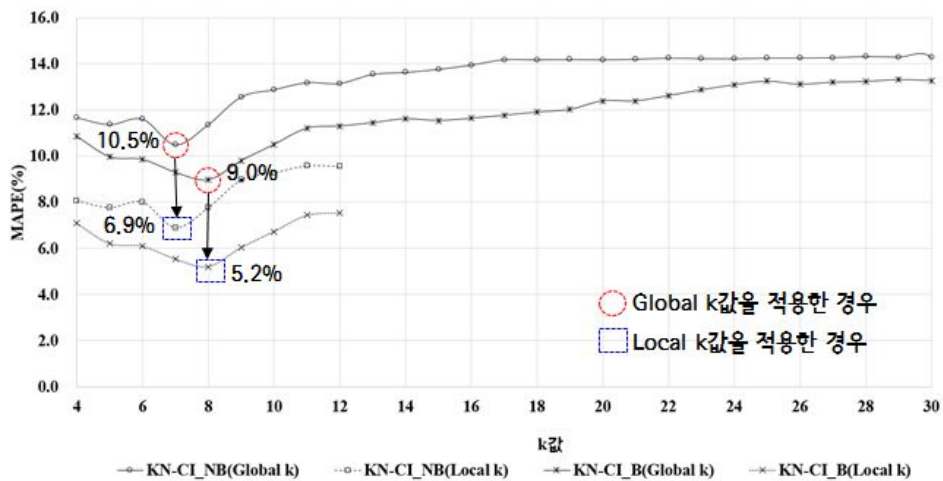
하지만 일부 적용모형에서 본 연구의 허용오차 범위( $\pm 12\%$  이내)를 넘어서고 있으므로 보다 더 추정오차를 감소시키기 위하여 개별 도로구간 단위의 다양한 교통 특성을 반영할 수 있는 국부적인 AADT 추정모형으로 개발하고 각 대상구간별로  $k$ 값을 최적화한다. 이러한 구간별 최적  $k$ 값은 해당 대상구간의 최종 의사결정 군집의 개수를 의미하는 Local  $k$  값을 의미한다.



<그림 5-3> 적용모형별 Global  $k$ 값의 최적화 결과



앞서 Global  $k$ 값의 최적화와 배경교통량 적용유무에 따라 MAPE가 최소인 KL-CI<sub>NB</sub>와 KL-CI<sub>B</sub>모형에 대하여 대상구간별로 Local  $k$ 값을 최적화하여 적용할 경우, <그림 5-4>에서 보는 바와 같이 KL-CI<sub>NB</sub>모형은 MAPE를 기존 10.5%에서 6.9%로 감소시키며, KL-CI<sub>B</sub>모형은 기존 9.0%에서 5.2%로 감소시키는 것으로 분석되었다. 즉, 사례분석 범위 내 대상구간별로 인접한 관측 값들에 대하여 국부적인 공간 패턴이 존재한다는 것을 의미이며, 이러한 공간 패턴을 KNN기법으로 충분히 탐색 및 추출이 가능한 것으로 판단된다. 그리고 Local  $k$ 값을 적용한 두 모형의 MAPE는 파라미터 최적 값의 영역을 확대함으로서 안정적으로 최소 오차 공간의 범위 내에서 추정된 결과로 볼 수 있으며, 본 연구의 허용오차 범위( $\pm 12\%$  이내)에도 만족하는 것으로 분석되었다.



<그림 5-4> 적용모형별 Local  $k$ 값의 최적화 결과

## 제4절 평가 결과

### 1. 종합평가 결과

본 개발모형과 비교모형의 성능평가를 위하여 사례분석 범위 내 관측 교통량 조사구간을 미관측 도로구간으로 가정하고 해당 대상구간별로 각 모형들을 적용하여 AADT를 추정하였다. 여기서, 사례분석 대상구간은 고속도로 50개 구간, 일반국도 50개 구간으로 구성되어 있다. 모형의 평가지표는 정확도 측면의 MAPE(%), HR(%)을 적용하였으며, 신뢰도 측면의 MRPE(%), SDRPE(%)를 적용하였다. 전체 대상구간에 대하여 적용모형별 평가결과는 <표 5-3>과 같다.

전체 평가결과를 종합해보면, 본 연구에서 개발한 6가지의 KL모형이 비교모형으로 선정한 GLR모형과 SWA모형보다 정확도와 신뢰도 측면의 모든 평가지표에서 우수한 추정력을 보이는 것으로 나타났다. 또한 전체 KL모형의 MAPE가 5.2~11.3%로 분석되어 본 연구에서 요구하는 허용오차 수준에도 모두 만족하는 것으로 나타났다.

먼저 비교모형인 GLR모형보다 KL모형의 추정력이 우수하게 나온 결과에 대하여 세부적으로 살펴보면, 본 개발모형은 사례분석 범위 내 전체 대상구간에 대하여 도로구간별로 추정모형 식을 모두 구축하는 국부적인 선형회귀모형이다. 또한 내비게이션의 이용률(Market rate, %), 배경교통량 등과 같이 개별 도로구간의 이질적인 교통 특성을 반영하기 위한 추정모형이다. 하지만, GLR모형의 경우는 사례분석 범위 내 전체 대상구간의 입력 자료들을 모두 이용하여 하나의 추정모형 식으로 대상구간별 AADT를 추정하기 때문에 지역별 공간적인 이질성 문제와 개별 도로구간의 교통 특성을 모형에 고려하지 못하였다. 이로 인해 본 개발모형보다 GLR모형이 낮은 추정력을 보이는 것으로 판단되며, 기존 국부적인 선형회귀모형을 적용한 선행 연구들의 분석 결과와도 일치한다 (Zhao and Park 2004; Selby and Kockelman 2013).

그리고 SWA모형의 추정력이 가장 떨어진 것으로 나타난 것은 두 가지 측면으로 판단해 볼 수 있다. 먼저 대상구간과 인접한 관측 값들에 대한 적정 군집의 개수를 하나의 고정 값으로 적용하여  $k$ 값에 대한 파라미터의 최적화 문제가 발생하였다. 그리고 해당 모형은 AADP와 AADT의 상관관계만을 고려한 단순 가중평균의 형태이므로 도로구간별로 상이한 배경교통량과 같이 개별 도로구간 단위의 이질적인 교통 특성을 고려하지 못하였다. 이로 인해 교통량 수준이 낮은 곳에서는 과다 추정된 반면 교통량 수준이 높은 곳에서는 오히려 과소 추정된 결과가 산출되었다. 만약 본 연구의 KNN 기법과 결합하여 교통량을 추정한다면 대상구간의 적정 군집의 개수인  $k$ 값에 대한 파라미터의 최적화 문제를 해결할 수 있어 현재의 결과보다 추정오차는 낮아질 것으로 판단되나, 여전히 배경교통량을 고려하지 못하는 문제는 발생하게 된다.

또한 본 개발모형에서 배경교통량의 적용 유무와 KNN 추출방법에 따른 평가 결과를 세부적으로 살펴보면 다음과 같다.

먼저, 배경교통량의 적용 유무에 따른 평가 결과는 배경교통량을 적용하지 않는 개발모형들 보다 배경교통량을 적용한 개발모형들이 모든 평가지표에서 우수한 것으로 나타났다. 즉, KL모형에서 이용되고 있는 AADP 자료는 표본 자료에 해당되므로 해당 도로구간을 통과하는 표본이 없더라도 기본적으로 통과하는 배경교통량이 존재한다. 배경교통량은 지역별 도로구간의 특성과 내비게이션 이용 빈도에 따라 배경교통량이 적은 구간부터 아주 많은 구간까지 다양하게 존재할 것으로 판단된다. 따라서 전체 도로구간별로 다양하게 존재하는 배경교통량의 특성을 고려한 개발모형이 이를 고려하지 않는 모형보다 우수한 추정력을 보이는 것으로 판단된다.

다음으로 KNN 추출방법에 따른 평가결과를 살펴보면, 일반적으로 이용하고 있는 유클리디언거리를 이용하는 것보다 실제 GPS 차량 통행 자료를 이용하여 산출한 이동경로 기반의 연결성지수와 최단경로거리를 적용하는 것이 우수한 추정력을 보이는 것으로 분석되었다. 이는 Selby

and Kockelman(2013)의 연구에서 유클리디안거리와 네트워크 거리의 분석결과와 차이가 없는 것과는 상반된 결과이다. 하지만 기존의 네트워크 거리는 모두 수요모형에 의해서 산출된 최단경로거리를 이용한 값이므로 실제 관측 값을 적용한 본 연구의 결과와 차이가 발생하는 것으로 판단된다. 또한 대상구간별 KNN DB 구축 시, 유클리디안거리를 적용한 경우보다 연결성지수와 최단경로거리를 적용한 경우가 대상구간과 상관성이 높고 동질적인 군집을 탐색 및 추출하는 것으로 판단된다. 이는 본 연구에서 적용하고 있는 예측변수의 입력 자료로 차량용 내비게이션에서 수집되는 GPS 차량 통행 자료를 이용하고 있기 때문이다. 그리고 유클리디안거리는 단순히 대상구간과 직선거리가 가까운 순으로 KNN을 추출하기 때문에 공간 자료의 상관성을 갖기 위해서 많은 자료들이 필요하게 된다. 이로 인해 상관성이 떨어지거나 불필요한 이상치 자료가 포함될 우려가 있어 개발모형의 추정력을 떨어뜨리는 것으로 판단된다.

<표 5-3> 전체 대상구간에 대한 적용모형별 평가결과

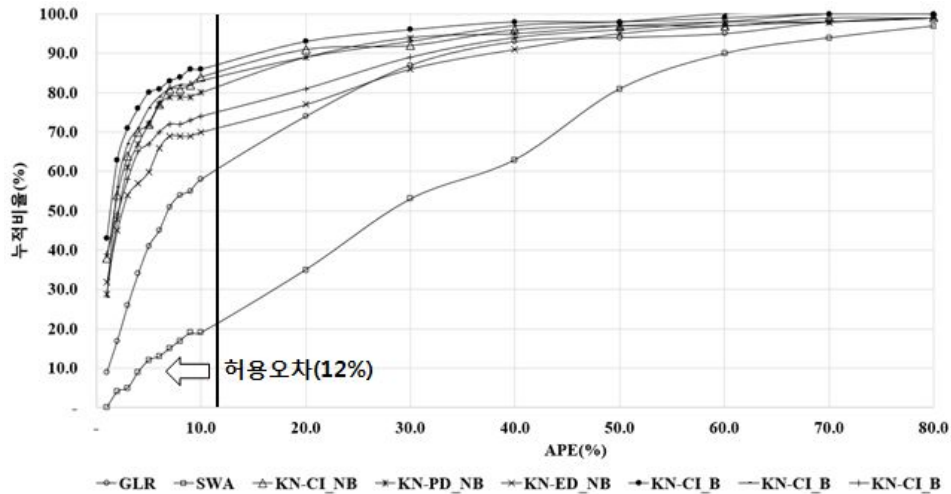
평가지표		GLR 모형	SWA 모형	KL모형					
				배경교통량 미적용			배경교통량 적용		
				KL-CI <sub>NB</sub>	KL-PD <sub>NB</sub>	KL-ED <sub>NB</sub>	KL-CI <sub>B</sub>	KL-PD <sub>B</sub>	KL-ED <sub>B</sub>
정 확 도	MAPE (%)	14.2	32.2	6.9	7.6	11.3	5.2	6.4	9.2
	HR (%)	58.0	19.0	84.0	80.0	70.0	86.0	83.0	74.0
신 뢰 도	MRPE (%)	2.6	-12.7	-0.8	-2.6	-2.3	-0.1	-2.5	0.6
	SDRPE (%)	22.4	39.1	16.4	16.5	20.9	12.2	13.0	17.6

본 연구에서 설정한 평가지표 중 추정결과의 정확도를 나타내는 APE(%)를 이용하여 전체 사례분석 구간을 대상으로 <그림 5-5>와 같이 적용모형별 APE에 따른 대상구간들의 누적비율을 산출하여 서로 비교해보았다.

먼저, APE가 12%이하인 대상구간들의 누적비율(%)을 살펴보면, 비교모형인 GLR모형과 SWA모형은 20~60%이하인 반면, 본 연구의 6가지 KL모형들은 모두 70% 이상으로 나타나 비교모형보다 우수한 추정력을 보이는 것으로 분석되었다. 기존 Zhao and Park(2004)의 연구에서는 GWR모형의 MAPE가 20% 이하인 대상 지점들의 누적 비율이 약 55%에 그치는 것으로 나타났으며, 적용된 평가지표가 다르긴 하지만 크리깅모형을 적용한 Wang and Kockelman(2009)은 실제 값 대비 MDPE가 31%가 넘는 대상 지점들이 절반 이상이 되는 것으로 나타났으며, Selby and Kockelman(2013)은 MDAPE가 15%이하인 대상 지점들의 누적비율이 약 50%에 불과한 것으로 나타났다. 이처럼 선행 연구와의 추정오차를 비교해 볼 때 본 개발모형의 추정력이 우수한 것을 알 수가 있다.

다음으로 KL모형 중 배경교통량의 적용 유무에 따른 평가 결과는 배경교통량을 적용하지 않는 개발모형들 보다 배경교통량을 적용한 개발모형들이 모든 평가지표에서 우수한 것으로 나타났다. 이는 개발모형의 예측변수 AADP가 표본인 점과 전체 대상구간별로 다양하게 존재하는 배경교통량을 반영하는 모형이 이를 반영하지 않는 모형보다 우수한 추정력을 보이는 것으로 판단된다.

그리고 KL모형 중 3가지의 KNN 추출방법을 따른 평가한 결과는 연결성지수, 최단경로거리, 유클리디안거리 순으로 개발모형의 추정력이 우수한 것으로 나타났다. 이는 유클리디안거리를 적용하는 것 보다 이동경로 기반의 연결성지수와 최단경로거리를 적용하여 KNN 군집을 구축하는 것이 보다 더 대상구간과 상관성이 높고 동질적인 군집을 구축하는 것으로 판단된다.

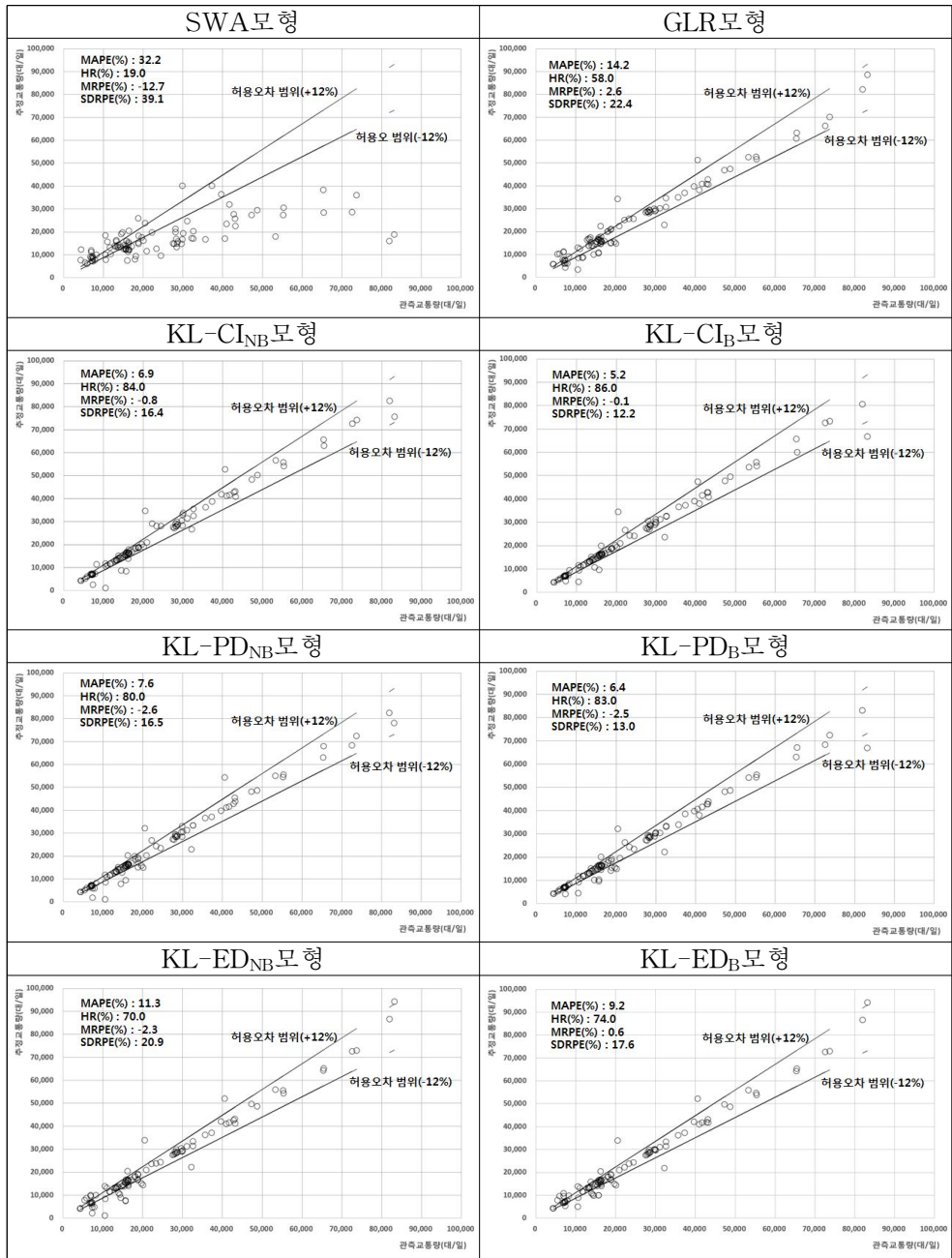


<그림 5-5> 적용모형별 APE에 따른 누적비율(전체 대상구간, %)

전체 사례분석 구간을 대상으로 2가지의 비교모형과 6가지의 KL모형을 각각 적용하여 추정한 구간별 추정교통량과 관측교통량에 대한 산포도를 분석한 결과는 <그림 5-6>과 같다. 적용모형별 산포도 결과에서 보듯이 본 연구에서 개발한 6가지의 KL모형이 비교모형으로 선정한 GLR모형과 SWA모형보다 모든 평가지표에서 우수한 추정력을 보이는 것으로 나타났다.

여기서, KL모형 중 배경교통량의 적용 유무에 따른 평가 결과는 동일한 KNN 추출방법을 기준으로 배경교통량을 적용하지 않는 개발모형들보다 배경교통량을 적용한 개발모형들이 모든 평가지표에서 우수한 것으로 나타났다. 이는 추정 모형 식의 예측변수인 AADP가 전체 통과차량 중 표본 자료에 해당되며, 내비게이션 이용률과 배경교통량은 개별 도로 구간 단위로 다양하게 발생하기 때문에 이러한 교통 특성을 잘 반영한 결과라고 판단된다. 그리고 KL모형 중 배경교통량의 적용 유무에 따라 동일하게 적용된 모형을 기준으로 3가지의 KNN 추출방법을 따라 평가한 결과는 연결성지수, 최단경로거리, 유클리디안거리 순으로 개발모형의 추정력이 우수한 것으로 나타났다. 이는 본 연구의 입력 자료가 실제 관

측 값으로 차량용 내비게이션에서 수집되는 GPS 차량 통행 자료, 즉 개별 차량의 이동경로 자료를 이용하고 있기 때문인 것으로 판단된다.



<그림 5-6> 적용모형별 관측교통량과 추정교통량의 산포도(전체 대상구간)

## 2. 고속도로 평가 결과

전체 구간 중 고속도로 구간을 대상으로 평가를 수행한 결과는 <표 5-4>과 같으며, 본 연구에서 개발한 6가지의 KL모형이 비교모형으로 선정한 GLR모형과 SWA모형보다 정확도와 신뢰도 측면의 모든 평가지표에서 우수한 추정력을 보이는 것으로 나타났다. 또한 전체 KL모형의 MAPE가 4.1~5.6%로 분석되어 본 연구에서 요구하는 허용오차 수준을 모두 만족하는 것을 나타났다.

KL모형 중 배경교통량의 적용 유무에 따른 평가 결과는 동일한 KNN 추출방법을 기준으로 배경교통량을 적용하지 않는 모형보다 배경교통량을 적용한 모형이 모든 평가지표에서 근소하게 우수한 것으로 분석되었지만 그렇게 큰 차이는 없었다. 그리고 KL모형 중 배경교통량의 적용 유무에 대한 동일한 기준으로 KNN 추출방법에 따른 평가한 결과도 3가지 방법 모두 큰 차이가 발생하지 않았다. 이러한 결과는 고속도로라는 특수성 때문에 주어진 대상구간과 인접한 관측 값들의 분포가 이미 어느 정도의 동질적인 상태이므로 배경교통량의 적용유무와 KNN 추출방법에 따른 개발모형들의 추정력 차이가 크게 발생하지 않은 것으로 판단된다.

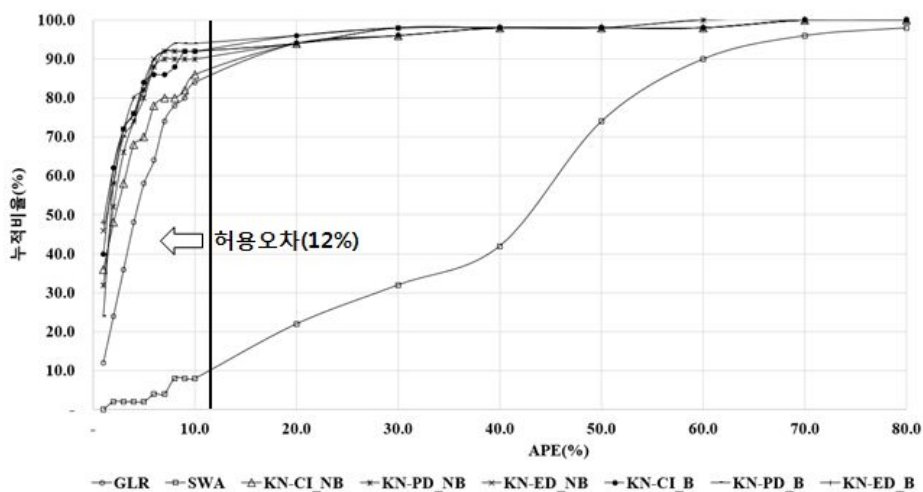
<표 5-4> 고속도로에 대한 적용모형별 평가결과

평가지표		GLR 모형	SWA 모형	KL모형					
				배경교통량 미적용			배경교통량 적용		
				KL-CI <sub>NB</sub>	KL-PD <sub>NB</sub>	KL-ED <sub>NB</sub>	KL-CI <sub>B</sub>	KL-PD <sub>B</sub>	KL-ED <sub>B</sub>
정 확 도	MAPE (%)	7.1	38.5	5.6	4.6	4.3	4.4	4.1	4.2
	HR (%)	84.0	8.0	86.0	90.0	92.0	92.0	94.0	92.0
신 뢰 도	MRPE (%)	3.9	-34.3	3.9	3.2	2.8	2.2	1.6	3.1
	SDRPE (%)	12.7	21.6	11.8	10.4	11.1	11.0	9.4	11.0



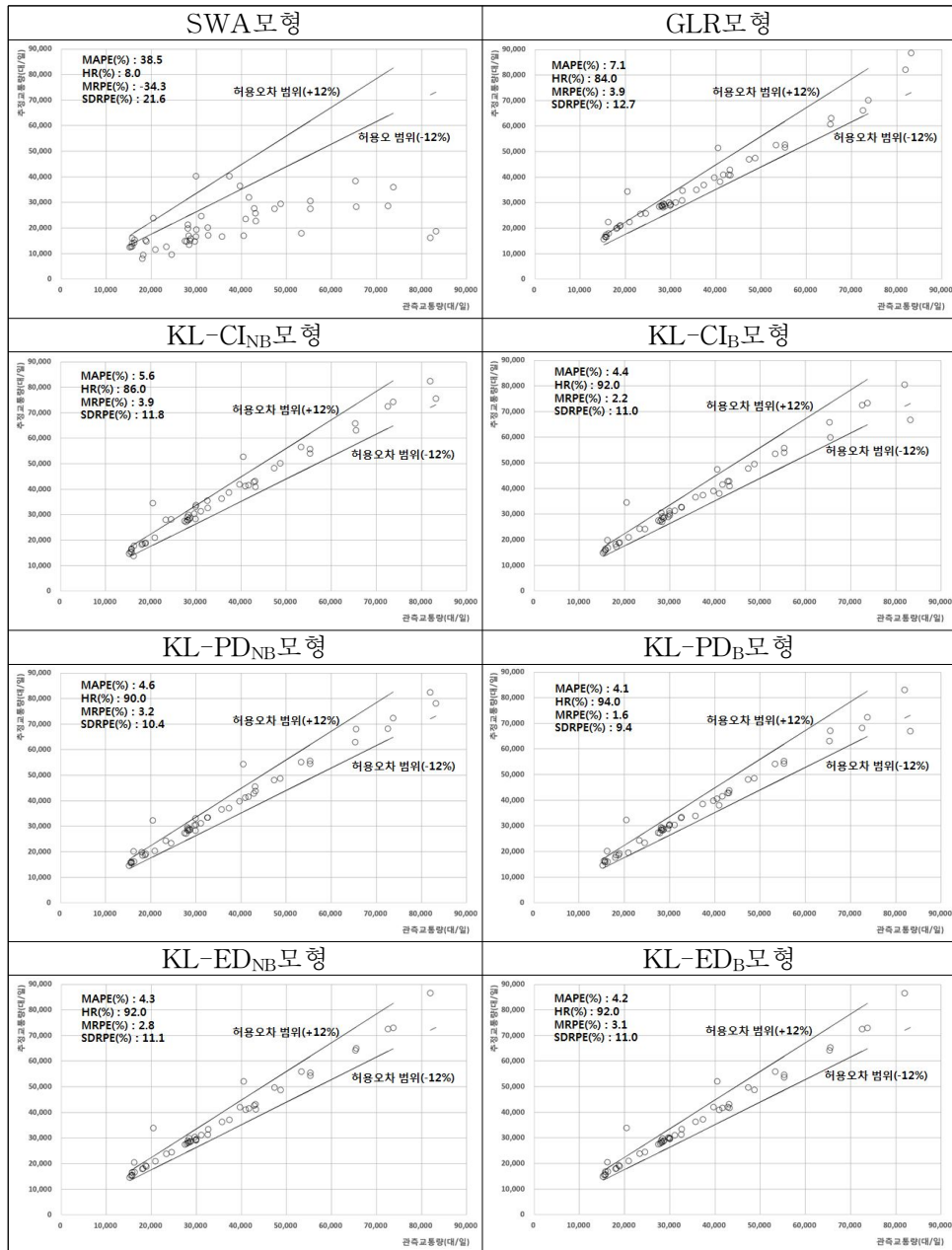
본 연구에서 설정한 평가지표 중 추정결과의 정확도를 나타내는 APE를 이용하여 고속도로 구간을 대상으로 <그림 5-7>와 같이 적용모형별 APE의 누적빈도분포를 산출하여 비교해보았다. 먼저, APE가 12%이하인 대상구간들의 누적비율(%)을 살펴보면 비교모형인 GLR모형과 SWA모형은 10~84%이하인 반면, 본 연구의 6가지 KL모형들은 모두 85%이상으로 나타나 비교모형들보다 우수한 추정력을 보이는 것으로 분석되었다.

KL모형 중 배경교통량의 적용 유무에 따른 평가 결과는 동일한 KNN 추출방법을 기준으로 배경교통량을 적용하지 않는 개발모형들 보다 배경교통량을 적용한 개발모형들이 모든 평가지표에서 조금 우수한 것으로 나타났으나 큰 차이가 나지 않는 것으로 분석되었다. 그리고 KL모형 중 3가지의 KNN 추출방법을 따른 평가한 결과도 앞서 설명한 고속도로의 특수성으로 인하여 연결성지수, 최단경로거리, 유클리디안거리와 같이 3가지의 KNN 추출방법에 따른 추정결과의 차이도 크지 않은 것으로 나타났다.



<그림 5-7> 적용모형별 APE에 따른 누적비율(고속도로, %)

고속도로 구간을 대상으로 적용모형별 관측교통량과 추정교통량에 대한 산포도는 <그림 5-8>과 같다.



<그림 5-8> 적용모형별 관측교통량과 추정교통량의 산포도(고속도로)

### 3. 일반국도 평가결과

전체 구간 중 일반국도 구간을 대상으로 평가를 수행한 결과는 <표 5-5>과 같으며, 전체적으로 적용모형들의 오차 수준이 고속도로보다는 높은 편이다. 즉, 고속도로보다는 대상구간과 인접한 관측 값들의 분포 상태가 동질적이지 않고 좀 더 이질적인 상태라는 것을 의미한다.

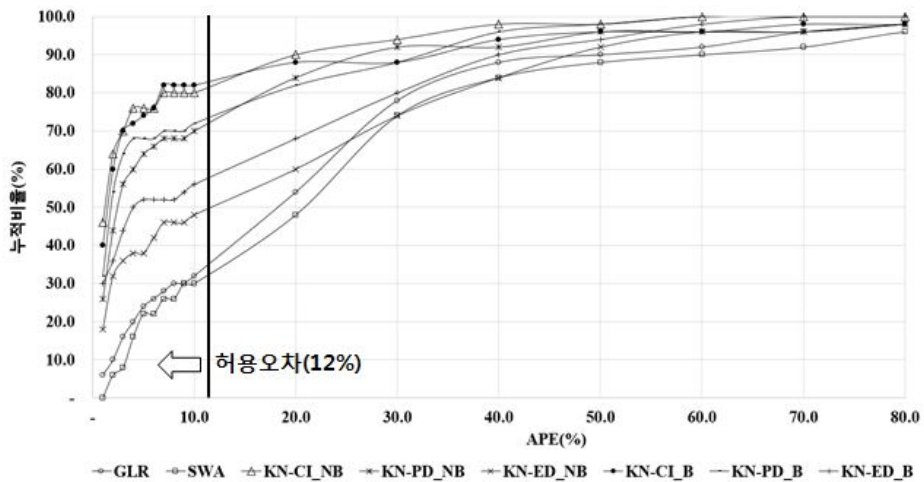
본 연구에서 개발한 6가지의 KL모형들은 비교모형으로 선정한 GLR모형과 SWA모형보다 정확도와 신뢰도 측면의 모든 평가지표에서 우수한 추정력을 보이는 것으로 나타났다. 또한 전체 KL모형의 MAPE가 6.0~18.2%로 분석되어 KL-ED<sub>NB</sub>모형과 KL-ED<sub>B</sub>모형을 제외하고 본 연구에서 요구하는 허용오차 수준을 모두 만족하는 것을 나타났다. KL모형 중 배경교통량의 적용 유무에 따른 평가 결과는 고속도로의 분석결과와 동일하게 배경교통량을 적용하지 않는 개발모형들 보다 배경교통량을 적용한 개발모형들이 모든 평가지표에서 우수한 것으로 나타났다. 그리고 KL모형 중 3가지의 KNN 추출방법에 따라 평가한 결과도 마찬가지로 연결성지수, 최단경로거리, 유클리디안거리 순으로 개발모형의 추정력이 우수한 것으로 나타났다.

<표 5-5> 일반국도에 대한 적용모형별 평가결과

평가지표		GLR 모형	SWA 모형	KL모형					
				배경교통량 미적용			배경교통량 적용		
				KL-CI <sub>NB</sub>	KL-PD <sub>NB</sub>	KL-ED <sub>NB</sub>	KL-CI <sub>B</sub>	KL-PD <sub>B</sub>	KL-ED <sub>B</sub>
정 확 도	MAPE (%)	21.3	26.0	8.3	10.6	18.2	6.0	8.7	14.2
	HR (%)	32.0	30.0	82.0	70.0	48.0	80.0	72.0	56.0
신 뢰 도	MRPE (%)	1.3	10.6	-3.7	-7.9	-7.6	-3.4	-6.3	-2.1
	SDRPE (%)	29.2	38.1	19.4	19.5	26.6	12.7	14.8	22.2

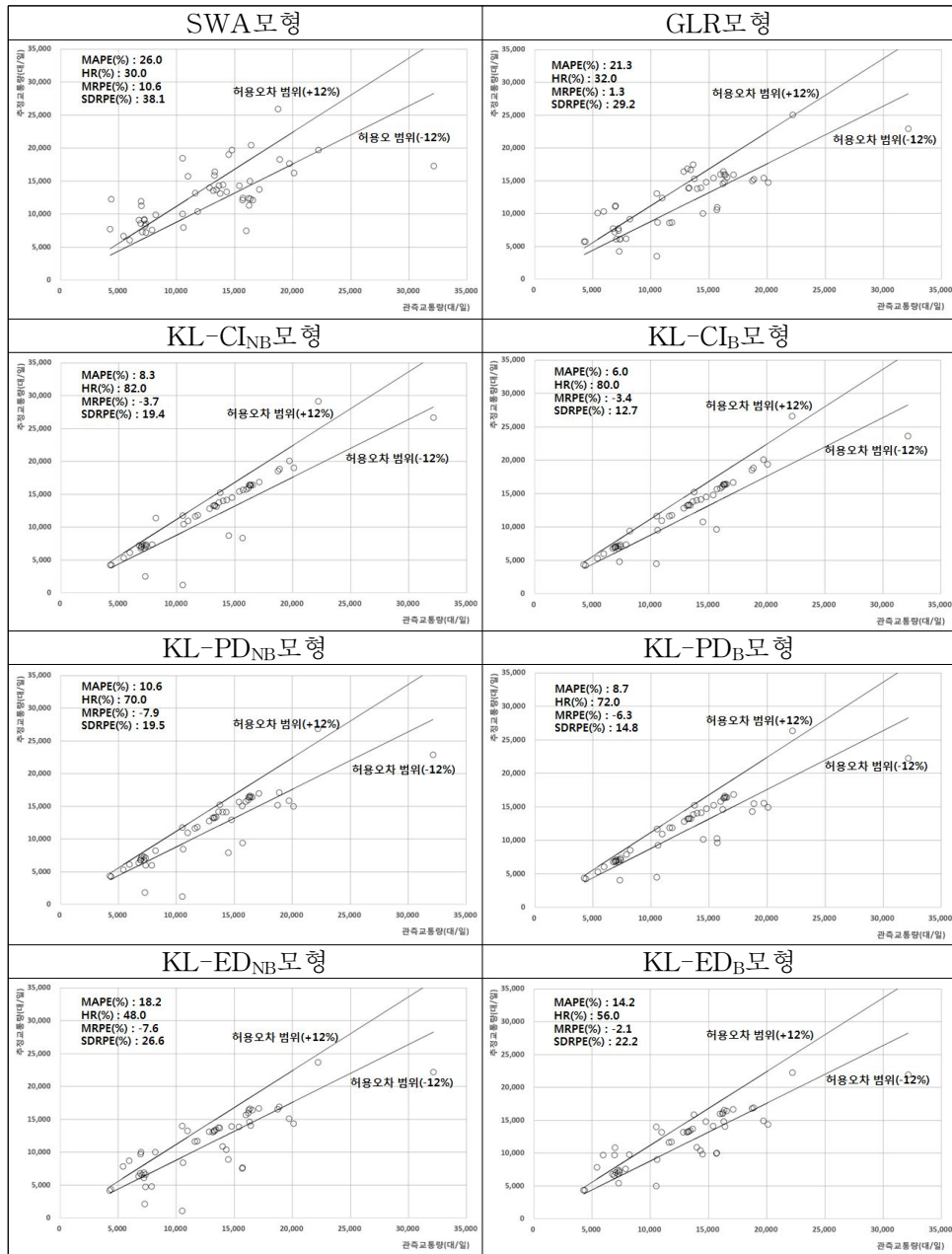
본 연구에서 설정한 평가지표 중 추정결과의 정확도를 나타내는 APE를 이용하여 전체 일반국도 구간을 대상으로 <그림 5-9>와 같이 적용모형별 APE의 누적빈도분포를 산출하여 비교해보았다. 먼저, APE가 12%이하인 대상구간들의 누적비율(%)을 살펴보면 비교모형인 GLR모형과 SWA모형은 32~35%이하인 반면, 본 연구의 6가지 KL모형들은 모두 50%이상으로 나타나 비교모형들보다 우수한 추정력을 보이는 것으로 분석되었다.

KL모형 중 배경교통량의 적용 유무에 따른 평가 결과는 고속도로의 분석결과와 동일하게 배경교통량을 적용하지 않는 개발모형들 보다 배경교통량을 적용한 개발모형들이 모든 평가지표에서 우수한 것으로 나타났다. 그리고 KL모형 중 3가지의 KNN 추출방법에 따라 평가한 결과도 마찬가지로 연결성지수, 최단경로거리, 유클리디안거리 순으로 개발모형의 추정력이 우수한 것으로 나타났다.



<그림 5-9> 적용모형별 APE에 따른 누적비율(일반국도, %)

일반도로 구간을 대상으로 적용모형별 관측교통량과 추정교통량에 대한 산포도는 <그림 5-10>과 같다.



<그림 5-10> 적용모형별 관측교통량과 추정교통량의 산포도(일반국도)

## 제5절 소결

본 개발모형과 비교모형의 성능평가를 위하여 선정된 사례분석 네트워크상의 관측구간을 미관측 구간으로 가정하고 해당 구간별로 각 모형들을 적용하여 AADT를 추정하였다. 여기서, 사례분석 네트워크는 전체 구간 중 고속도로 50개 구간, 도시부 도로 50개 구간으로 구성되어 있다. 모형의 평가지표는 정확도 측면에서의 MAPE(%), HR(%)을 적용하였으며, 신뢰도 측면에서의 MRPE(%), SDRPE(%)를 적용하였다.

전체 대상구간의 평가결과를 종합해보면, 본 연구에서 개발한 6가지의 KL모형이 비교모형인 GLR모형과 SWA모형보다 정확도와 신뢰도 측면의 모든 평가지표에서 우수한 추정력을 보이는 것으로 나타났다. 또한 전체 KL모형의 MAPE가 5.2~11.3%로 분석되어 본 연구에서 요구하는 허용오차 수준을 모두 만족하는 것을 나타났다. KL모형 중 배경교통량의 적용 유무에 따른 평가 결과는 배경교통량을 적용하지 않는 개발모형들 보다 배경교통량을 적용한 개발모형들이 모든 평가지표에서 우수한 것으로 나타났으며, KL모형 중 KNN 추출방법을 따라 평가한 결과는 연결성지수, 최단경로거리, 유클리디안거리 순으로 개발모형의 추정력이 우수한 것으로 나타났다. 특히 정확도 지표 중에 하나인 APE를 이용하여 적용모형별 APE에 따른 누적비율을 산출하여 비교해 본 결과는 선행연구들과 비교해 볼 때도 본 개발모형의 추정력이 우수한 것을 알 수가 있었다.

이러한 평가 결과는 먼저, AADT와의 상관관계가 아주 높고 가장 설명력이 높은 예측변수 AADP 자료를 활용했다는 점이다. 선행연구들에서는 사회·경제적 지표 등과 같은 일반적인 통계자료와 개별 도로구간의 특성을 나타내는 변수라고는 차로수, 연장, 제한속도 등과 같은 GIS의 단편적인 링크정보에만 의존한 반면에 본 연구에서는 기존의 설명변수들의 특성을 AADT 자료가 충분히 설명하고 있기 때문에 개발모형의 추정력을 향상시킨 것으로 판단된다.

둘째, 상시 또는 수시조사 지점에서의 결측값 보정, AADT 추정을 위한 선행연구들을 살펴보면, 과거 자료 수집 및 저장 기술의 한계로 인하여 통계적 기반의 모수 모형에만 의존하다가 최근 IT기술의 발달로 인하여 대용량 이력자료를 활용할 수 있게 되어 데이터 기반의 비모수 모형을 적용한 연구들도 활발히 진행되고 있다. 하지만 미관측 도로구간의 AADT 추정과 관련된 선행연구들에서는 여전히 통계모형의 파라미터에 의존하는 모수 모형만을 적용하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 GPS 차량 통행 자료를 활용하기 때문에 선행 연구들에서와 같이 모수 모형을 적용하는 것은 한계가 있으므로 이를 위하여 비모수 모형 중에 하나인 KNN 기법을 적용하였다. 이 방법은 대상구간으로부터 인접한 국부적인 공간 패턴을 탐색 및 추출하여 가장 설명력이 높은 KNN 군집을 구축하는 방법을 말한다. 구축된 군집의 입력 자료를 이용하여 최종 모형 식의 파라미터를 최적화를 수행한다. 이로 인하여 본 개발모형의 추정력이 향상된 것으로 판단된다.

셋째, 전역 회귀모형의 형태가 아닌 개별 도로구간의 특성을 반영할 수 있는 국부 가중선형회귀 형태인 LWLR모형을 적용하였다. 이는 추정 모형의 예측변수에 해당하는 도로구간별 AADP 자료를 활용하는 점에서도 일맥상통한다. 또한 본 추정모형의 파라미터 최적화 방법은 일반적으로 이용되고 있는 통상적인 최소자승법으로는 적용의 한계가 있다. 본 연구에서는 단일 또는 이중제약 기반의 파라미터(기울기, 절편) 최적화 방법론 제안하였다. 여기에 적용하고 있는 목적함수는 통상적인 최소자승법이 아닌 상대적 개념의 가중평균 절대 백분위 오차(WMAPE, %)를 적용하였다.

마지막으로 공간 자료를 이용할 경우, 공간의 상관성을 나타낼 수 있는 가중치로서 일반적으로 유클리디안거리 만을 이용하고 있다. 하지만 본 연구에서는 이 추출방법 외에도 GPS 차량 통행 자료에서 산출된 실제 관측 값인 연결성지수와 최단경로거리를 추가적으로 적용하여 개발모형의 추정력을 향상시켰다.

## 제6장 결론 및 향후 연구

### 제1절 결론

최근 IT기술의 발전으로 인하여 활용할 수 있는 데이터가 급변하고 있다. 즉, 기존의 고정식 지점검지체계에서 차량용 내비게이션과 같이 개별 차량의 GPS 통행 자료를 수집 및 저장하는 방식으로 확장되었으며, 공간적 범위도 전국의 모든 도로를 대상으로 하고 있다. 이러한 데이터 환경에서 미관측 도로구간의 AADT 추정 관련 분야의 연구에도 변화를 요구하고 있다. 하지만 관련 선행연구들에서는 여전히 지역 단위의 거시적인 일반통계자료를 이용하고 특정 통계모형의 파라미터와 산출 값에 의존하는 모수 모형만을 적용하고 있는 실정이다. 그 동안 본 연구에서 활용하는 GPS 차량 통행 자료와 같이 미시적 단위의 대용량 이력 자료를 활용한 연구 사례도 없었다.

이처럼 가용할 수 있는 데이터의 환경이 급변하고 있는 상황에서 본 연구에서는 이에 부합되도록 차량용 내비게이션에서 수집되고 있는 GPS 차량 통행 자료를 활용하여 미관측 도로구간의 AADT를 추정하기 위한 KL모형을 개발하였다. KL모형은 비모수 모형 중에 하나인 KNN기법과 국부 가중선회귀의 형태인 LWLR모형이 결합된 AADT 추정모형으로 배경교통량의 적용 유무와 3가지의 KNN 추출방법에 따라 총 6가지 형태의 KL모형으로 개발하였다. 여기서, KNN기법은 최종 의사결정 군집을 구축하기 위한 대상구간과 인접한  $k$ 개의 이웃을 탐색 및 추출하는 방법을 말하며, LWLR모형은 구축된 KNN 군집의 입력 자료를 이용하여 추정모형 식의 파라미터(기울기, 절편)를 최적화하는 모형을 말한다. 개발모형의 대한 성능평가 결과는 전체 사례분석 네트워크를 대상으로 우수한 추정력을 보였으며, 전체적으로 본 연구의 결론 및 시사점을 요약하면 다음과 같다.



첫째, 미관측 도로구간의 AADT 추정과 관련된 대부분의 선행연구들에서 대부분 추정오차가 요구하는 허용오차 수준( $\pm 12\%$  이내)을 만족하지 못하고 있는 실정이었다. 하지만 본 개발모형의 추정오차는 본 연구의 허용오차 수준을 만족하도록 개발하였다. 그 결과, 개발모형의 성능은 타 비교모형과 선행 연구들에 비하여 우수한 추정력을 보이는 것으로 나타났다.

둘째, 빅데이터의 활용이라는 측면에서 차량용 내비게이션에서 수집되고 있는 GPS 차량 통행 자료를 활용했다는 점이다. 즉, 해당 자료를 도로구간별로 집계하여 AADP로 산출하고 이를 본 연구의 예측변수로 적용하였다. AADP는 선행연구들에서 적용했던 그 어떠한 설명변수보다도 종속변수 AADT에 대한 설명력이 가장 뛰어난 변수라고 판단된다. 추가적으로 기존의 통계모형에 의해 산출된 값이 아닌 실제 관측 값인 해당 자료에서 산출된 연결성 지수와 최단경로거리를 가중치로 적용하여 개발모형의 추정력을 향상시켰다.

셋째, 최근 미시적인 대용량 이력 자료를 활용할 수 있는 시점에서 기존의 일반적인 통계자료 또는 통계모형에 의해서 산출된 값을 설명변수로 적용하던 통계적 기반의 모수 모형에서 현재의 데이터 환경에 부합되는 추정모형의 형태로 진화가 되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 선행연구들과는 달리 데이터 기반의 비모수 모형을 우선적으로 적용하였으며, 추가적으로 본 개발모형의 형태도 공간의 상관성을 고려한 국부적인 추정모형으로 개발하되, 지역 단위의 공간 이질성을 고려하는 선행연구들과는 달리 개별 도로구간의 미시적인 특성을 고려할 수 있는 추정모형으로 개발하였다.

마지막으로 본 연구에서는 특정 지역 또는 특정 도로에 특화된 추정모형이 아닌 전국 단위의 분석 네트워크에 적용이 가능하도록 일반화된 추정모형으로 개발하였으며, 향후 본 개발모형은 시스템의 내부모듈로서 모형 탑재가 용이하도록 모형의 구조변경, 전국 단위의 네트워크 적용가능성, 파라미터 자동정산, 모형의 연산 수행속도 등을 충분히 고려하여 개발하였다.

## 제2절 향후 연구

본 연구에서 개발한 KL모형의 활용방안, 연구의 한계 그리고 모형의 고도화 측면에서의 지속적인 향후 연구가 필요하다. 먼저 본 연구의 활용방안으로는 수시교통량 조사 지점의 AADT 검증, 미관측 시간대의 교통량 추정, 미관측 도로구간의 차종별 교통량 추정, 적정 교통량 조사지점의 개수 산정 등과 관련된 다양한 연구 분야에 활용이 가능할 것이다. 또한 관련 연구 분야뿐만 아니라 차량주행거리(VKT), 교통혼잡비용, 이산화탄소 배출량 등 같이 현장의 실무 분야에서도 적극적으로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

본 개발모형의 예측변수로 AADP자료를 활용하고 있다. 해당 자료는 전체 통과차량의 표본 자료에 해당되므로 전체 모집단에 대하여 대표성을 가지고 있어야 한다. 현재 공간적 범위 내 전체 도로구간을 대상으로 AADP 자료의 표본율이 약 1~3%의 수준으로 수집되고 있으며, 이러한 표본율이 모집단을 대표할 수 있는 표본이 될 수 있는 지에 대한 검증이 필요하다. 하지만, 본 연구에서는 이러한 검증보다도 향후 시스템 상에서 어떠한 표본 수가 입력되더라도 해당 대상구간의 AADT를 추정할 수 있는 일반화된 모형으로 개발하는 것에 중점을 두었다. 이런 부분에서 연구의 한계가 있으며, 향후 AADP 자료에 대한 데이터의 신뢰도 측면에서 다각적인 검토과정이 필요할 것으로 판단된다.

개발모형의 고도화를 위한 향후 연구로는 첫째, 개별 차량의 GPS 통행 자료를 더욱 확장할 필요가 있다. 현재는 연평균 일통행량(대/일) 단위로 교통량을 추정하고 있지만, 자료가 더욱 확장 된다면 년/계절/월/주/일/시간 단위의 교통량 추정으로 세분화된 모형으로 개발이 가능할 것이다. 둘째, 본 연구에서는 승용차 기준으로 AADT를 추정하고 있지만 차종별 교통량을 추정할 수 있는 모형으로 고도화 할 필요가 있을 것이다. 차종별 교통량 추정은 앞서 활용방안에서도 언급한 바와 같이 개별 차량의 GPS통행 자료에서 다 차종의 정보가 확보되는 경우의 개발모형

에 대한 고도화 방안과 그러지 못할 경우의 고도화 방안을 수립할 필요가 있을 것이다. 넷째, 교통량 조사는 다수의 지점에서 많은 시간동안 조사하는 것이 중요하는 게 아니라 상시 조사지점과 같이 거점 조사지점에서 얼마나 정확하게 교통량 조사를 수행하고 있는지에 대한 문제가 더욱 중요하다. 따라서 현재 상시조사 지점에 대한 적정 개수와 거점식의 교통량 조사를 어디서? 얼마나? 어떤 방식으로 조사를 할 건지에 대한 검토도 필요할 것으로 판단된다. 마지막으로 현재 개발된 KL모형은 선형 기반의 추정모형이므로 비선형 기반의 모형을 KNN과 결합하는 방법에 대해서도 지속적인 연구가 필요할 것이다.

## 참 고 문 헌

### [국내연구]

- 국토해양부(2012), “도로교통량 조사지침(국토해양부 예규 제2012-252호)”
- 국토교통부(2015), “2014 도로교통량 통계연보”
- 김선우·정애란·이성덕(2005), “공간자료에 대한 지리적 가중회귀 모형과 크리깅의 비교”, 응용통계연구, 제18권 제2호, pp. 271~280.
- 김주현·도명식·정재은(2002), “국도기능분류를 위한 그룹핑 방법론에 관한 연구”, 대한교통학회지, 제20권 제5호, pp. 131~144.
- 김태운·오주삼(2015), “다중선형 회귀분석을 이용한 고립지역에서의 AADT 추정방안 연구”, 대한토목학회, 제35권 제4호, pp. 887~896.
- 백남철(2002), “베이지안 샘플링과 신경망 판별함수를 이용한 교통량 패턴 그룹 기반의 AADT 추정”, 서울대학교 박사학위논문.
- 이희연·노승철(2012), “고급통계분석론 -이론과 실습-”, 법문사.
- 임성한·오주삼(2005), “일반국도 유형분류 및 유형별 교통특성에 관한 연구”, 대학토목학회지, 제25권 제4D호, pp. 555~563.
- 임용택·임강원(2003), “교통망분석론”, 서울대학교 출판부
- 장현호(2015), “대용량 자료를 이용한 네트워크 기반 도시간 경로통시간 예측”, 서울대학교 박사학위논문.
- 전치혁(2012), “데이터마이닝 기법과 응용”, 하나래.
- 조준한·김성호(2009), “일반국도 도로특성분류를 위한 통계적 군집분석과 Kohonen Self-Organizing Maps의 비교연구”, 대한토목학회지, 제29권 제3D호, pp. 347~356.
- 최종근(2002), “공간정보 모델링”, 구미서관.
- 하정아(2013), “크리깅모형을 활용한 일반국도 연평균 일교통량 추정”, 아주대학교 박사학위논문.

- 하정아·오세창(2012), “일반국도 그룹핑과 시간 교통량 추이를 이용한 연평균 일교통량 추정”, 한국ITS학회지, 제11권 제2호, pp. 10~20.
- 한학용(2014), “패턴인식 개론”, 한빛아카데미.
- 허전·김호정(2013), “SPSS 21.0 통계분석 및 해설”, 탐북스.

## [국외연구]

- Al-Masaeid, H.R., Al-Suleiman, T.I., and Obaidat, M.T.(1998), “Traffic volume forecasting models for rural desert towns”, Institute of Transportation Engineers Online Journal, Vol. 68(5).
- Altman, N.S.(1992), “An introduction of Kernel and nearest-neighbor nonparametric regression”, The American Statistics, Vol. 46(3), pp. 175-185.
- Anderson, M., Sharfi, K., and Gholston, S.(2006), “Direct demand forecasting model for small urban communities using multiple linear regression”, Transportation Research Record, Vol. 1981, pp. 114-117.
- Bodle, R.R.(1967), “Evaluation of rural coverage count duration for estimating annual average daily traffic”, Highway Research Record, Vol. 199, pp. 67-77.
- Castro-Neto, M., Jeong, Y., Jeong, M.K., and Han, L.D.(2009), “AADT prediction using support vector regression with data-dependent parameters”, Expert Systems with Applications, Vol. 36(2), pp. 2979-2986.
- Chandra, C., and Al-Deek, H.(2004), “New algorithms for filtering and imputation of real time and archived dual-loop detector data in the I-4 data warehouse”, TRB Annual Meeting CD-ROM.
- Chang, H., Lee, Y., Yoon, B., and Baek, S.(2012)(b), “Dynamic near-term traffic flow prediction: system-oriented approach based on past experiences”, IET Intelligent Transport Systems, Vol. 6(3), pp. 292-305.

- Chang, H., Park, D., Lee, S., Lee, H., and Baek, S.(2010), “ Dynamic multi-interval bus travel time prediction using bus transit data”, *Transportmetrica*, Vol. 6(1), pp. 19-38.
- Chang, H., Park, D., Lee, Y., and Yoon, B.(2012)(a), “Multiple time period imputation technique for multiple missing traffic variables: non parametric regression approach”, *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 39, pp. 448-459.
- Chang, H., Seong, J.N., Lee, Y., and Yoon, B.(2011), “Dynamic freeway path travel time prediction based on nonparametric regression approach using dedicated short-range communications data”, presented at the 90th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington, DC.
- Chen, C., Kwon, J., Rice, J., Skabardonis, A., and Varaiya, P.O.(2003), “Detecting errors and imputing missing data for single-loop surveillance systems”, TRB Annual Meeting CD-ROM.
- Dailey, D.J.(1993), “Improved error detection for inductive loopsensors”, Rep. No. WA-RD 3001, Washington State Department of Transportation, Olympia, Wash.
- Davis, G. and N. Nihan(1991), “Nonparametric regression and short-term freeway traffic forecasting”, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 117, pp. 178-188.
- Dempster, A.P., Laird, N.M., and Rubin, D.B.(1977), “Maximum likelihood estimation from incomplete data via the EM algorithm(with discussion)”, *Journal of the Royal Statistical Society, Series B. Methodological*, Vol 39(1), pp. 1-38.

- Devijver, P.(1982), Statistical pattern recognition. Applications of pattern recognition, K. S. Fu, ed., CRC Press, Boca Raton, Fla., pp. 15-36.
- Disbro, J.E. and Frame, M.(1989), Traffic flow theory and chaotic behavior, New York State Department of Transportation Report FHWA/NY/SR-98/91, New York.
- Eom, J.K., Park, M.S., Heo, T.Y., and Huntsinger, L.F.(2006), “Improving the prediction of annual average daily traffic for nonfreeway facilities by applying a spatial statistical method”, Transportation Research Record, Vol 1968, pp. 20-29.
- Faghri, A., and Hua, J.(1995), “Road seasonal classification using neural networks”, Journal of Computing in Civil Engineering, Vol. 9(3), 209-215.
- Federal Highway Administration(FHWA).(2013), “Traffic monitoring guide”, FHWA-PL-13-015, US, Department of Transportation, FHWA, Washington, D.C.
- Flaherty, J.(1993), “Cluster analysis of Arizona automatic traffic record data”, Transportation Research Record, Vol. 1410, pp. 93-99.
- Gastaldi, M., Rossi, R., Gecchele, G., and Della Lucia, L.(2013), “Annual average daily traffic estimation from seasonal traffic counts”, Transportation Research Record, Vol. 2308, pp. 148-156.
- Gecchele, G., Rossi, R., Gastaldi, M., and Kikuchi, S.(2012), “Advances in uncertainty treatment in the FHWA procedure for estimating annual average daily traffic volume”, Procedia-Social and Behavioral Sciences, Vol. 87, pp. 279-291.



- Guegan, D., and Leroux, J.(2009), “Forecasting chaotic systems: The role of local Lyapunov exponents”, *Chaos, Solitons & Fractals*, Vol. 41, pp. 2401–2404.
- Jiang, Z., McCord, M.R., and Goel, P.K.(2006), “Improved AADT estimation by combining information in mage-and ground-based traffic data”, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 132(7), pp. 523–530.
- Karlsson, M., and Yakowitz, S.(1987), “Rainfall–runoff forecasting methods, old and new”, *Stochastic Hydrology and Hydraulics*, Vol. 1, pp. 303–318.
- Li, J. and Friker, J.D.(2008), “Applying k-nearest neighbor algorithm for statewide annual average daily traffic estimates”, *Transportation Research Board 87th Annual Meeting*, Washington, DC, USA.
- Lingras, P.(1995), “Classifying highways: hierarchical grouping versus kohonen neural networks”, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 121(4), pp. 364–368.
- Lingras, P.(2001), “Statistical and genetic algorithms classification of highways”, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 127(3), pp. 237–243.
- Lingras, P., and Adamo, M.(1996), “Average and peak traffic volumes: neural nets, regression, factor approaches”, *Journal of Computing in Civil Engineering*, Vol. 10(4), pp. 300–306.
- Liu, Z., Sharma, S., and Datla, S.(2008), “Imputation of missing traffic data during holiday periods”, *Transportation Planning and Technology*, Vol. 31(5), pp. 525 – 544.

- Lowry, M.(2014), “Spatial interpolation of traffic counts based on origin-destination centrality”, *Journal of Transport Geography*, Vol. 36, pp. 98-105.
- McCord, M., Yang, Y., Jiang, Z., Coifman, B., and Goel, P.(2003), “Estimating AADT from satellite imagery and air photographs: empirical results”, *Transportation Research Record*, Vol. 1855, pp. 136-142.
- Mohamad, D., Sinha, K., Kuczek, T., and Scholer, C.(1998), “Annual average daily traffic prediction model for county roads”, *Transportation Research Record*, Vol. 1617, pp. 69-77.
- Mulhern, F.J., and Caprara, R.J. (1994), “A nearest neighbor model for forecasting market response”, *International Journal of Forecasting*, Vol. 10, pp. 191-207.
- Ni, D., Leonard, J.D., Guin, A., and Feng, C.(2005), “Multiple imputation scheme for overcoming the missing values and variability issues in ITS data”, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 131(12), pp 931-938.
- Roess, P.R., Prassas, E.S., and McShane, W.R.(2004), “Traffic engineering”, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Rossi, R. Gastaldi, M., and Gecchele, G., Kikuchi, S.(2012), “Estimation of annual average daily truck traffic volume. Uncertainty treatment and data collection requirements”, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 54, 845-856.
- Rossi, R., Gastaldi, M., and Gecchele, G.(2014). “Comparison of clustering methods for road group identification in FHWA traffic monitoring approach: effects on AADT estimates”, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 140(7). pp. 1-8.

- Rubin, D.B.(1987), “Multiple imputation for nonresponse in surveys”, Wiley, New York.
- Schafer, J.L.(1997), “Analysis of incomplete multivariate data”, Chapman and Hall, New York.
- Selby, B. and Kockelman K.M.(2013), “Spatial prediction of traffic levels in unmeasured locations: applications of universal kriging and geographically weighted regression”, *Journal of Transport Geography*, Vol. 29, pp. 24-23.
- Shamo, B., Aza, E., and Membah, J.(2014), “Linear spatial interpolation and analysis of annual average daily traffic data”, *Journal of Computing in Civil Engineering*. Vol. 29(1), pp. 1-8.
- Sharma, S.C., and Werner(1981), “Improved method of grouping province wide permanent traffic counters”, *Transportation Research Record*, Vol. 815, pp. 12-18.
- Sharma, S.C., Lingras, P., Liu, G.X., and Xu, F.(2000), “Estimation of annual average daily traffic on low-volume roads: factor approach versus neural networks”, *Transportation Research Record*, Vol. 1719, pp. 103-111.
- Sharma, S.C., Lingras, P., Xu, F., and Kilburn, P.(2001), “Application of neural networks to estimate AADT on low-volume roads”, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 127(5), pp. 426-432.
- Sharma, S.C., Lingras, P., Xu, F., and Liu, G.X.(1999), “Neural networks as alternative to traditional approach of annual average daily traffic estimation from traffic counts”, *Transportation Research Record*, Vol. 1660, pp. 24-31.

- Sharma, S.C., Lingras, P.J., Hassan, M.U., and Murthy, N.A.(1986), “Road classification according to driver population”, *Transportation Research Record*, Vol. 1090, pp. 61–69.
- Smith, B.L., and Conklin, J.H.(2002). “Use of local lane distribution patterns to estimate missing data values from traffic monitoring systems”, *Transportation Research Record*, Vol. 1811, pp. 50 - 56.
- Smith, B.L., and Oswald, R.K.(2003), “Meeting real time traffic flow forecasting requirements with imprecise computations”, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Vol. 18(13), pp. 201–213.
- Smith, B.L., Williams, B.M., and Oswald, R.K.(2002), “Comparison of parametric and nonparametric models for traffic flow forecasting”, *Transportation Research Part C*, Vol 10, pp. 303–321.
- Tanner, M.A., and Wong, W.H.(1987), “The calculation of posterior distributions by data augmentation(with discussion)”, *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 82(398), pp. 528–550.
- Turner, S.M., Eisele, W.L., Gajewski, B.J., Albert, L.P., and Benz, R.J.(1999), “ITS data archiving: case study analyses of San Antonio TransGuide® data”, Texas Transportation Institute, The Texas A&M University System, College Station, Texas.
- Vlahogianni, E.I., Karlaftis, M.G., and Golias, J.C.(2005), “ Optimized and meta-optimized neural networks for short-term traffic flow prediction: a genetic approach”, *Transportation Research Part C*, Vol. 13(3), pp. 211–234.
- Wang, X., and Kockelman, K.(2009), “Forecasting network data”, *Transportation Research Record*, Vol. 2105, pp. 100–108.

- Yang, D., Wang, S.G., and Bao, Y.(2014), “New efficient regression method for local AADT estimation via SCAD variable selection”, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 15(6), pp. 2726–2731.
- Yoon, B, and Chang, H.(2014), “Potentialities of data-driven nonparametric regression in urban signalized traffic flow forecasting”, Journal of Transportation Engineering, Vol. 140(7), pp. 1–13.
- Zhao, F. and Chung, S.(2001), “Contributing factors of annual average daily traffic in a Florida county: exploration with geographic information system and regression models”, Transportation Research Record, Vol. 1769, pp. 113–122.
- Zhao, F. and Park, N.(2004), “Using geographically weighted regression models to estimate annual average daily traffic”, Transportation Research Record, Vol. 1879, pp. 99–107.
- Zhong, M. and Hanson, B.L.(2009), “GIS-based travel demand modeling for estimating traffic on low-class roads”, Transportation Planning and Technology, Vol. 32(5), pp. 423–439.
- Zhong, M., Lingras, P., and Sharma, S.(2004), “Estimation of missing traffic counts using factor, genetic, neural, and regression techniques”, Transportation Research Part C, Vol. 12(2), pp. 139–166.

## 부 록

### ■ 구간별 AADT 추정 결과(GLR모형, 고속도로)

노선	구간명	상/하행	지점번호	AADP (건/일)	AADT (대/일)	추정교통량 (대/일)	기울기	절편
대전남부순환선	서대전JCT~서대전IC	상행	30001	233.5	15,779.0	17,521.6	62.9	2,827.4
대전남부순환선	서대전JCT~서대전IC	하행	30001	238.9	16,253.0	17,862.3	62.9	2,827.4
대전남부순환선	서대전IC~안영IC	상행	30002	219.6	15,714.0	16,647.0	62.9	2,827.4
대전남부순환선	서대전IC~안영IC	하행	30002	216.2	15,702.0	16,430.0	62.9	2,827.4
대전남부순환선	안영IC~산내JCT	상행	30003	203.3	15,211.0	15,623.2	62.9	2,827.4
대전남부순환선	안영IC~산내JCT	하행	30003	219.8	15,488.0	16,662.3	62.9	2,827.4
경부선	대전IC~회덕JCT	상행	00125	604.7	42,846.0	40,880.0	62.9	2,827.4
경부선	대전IC~회덕JCT	하행	00125	604.6	41,633.0	40,876.8	62.9	2,827.4
경부선	회덕JCT~신탄진IC	상행	00126	700.7	47,325.0	46,925.5	62.9	2,827.4
경부선	회덕JCT~신탄진IC	하행	00126	708.1	48,667.0	47,389.6	62.9	2,827.4
경부선	신탄진IC~남청주IC	상행	00127	789.5	53,319.0	52,509.1	62.9	2,827.4
경부선	신탄진IC~남청주IC	하행	00127	792.4	55,253.0	52,692.3	62.9	2,827.4
경부선	남청주IC~청주JCT	상행	00128	771.6	40,519.0	51,383.2	62.9	2,827.4
경부선	남청주IC~청주JCT	하행	00128	775.4	55,312.0	51,626.3	62.9	2,827.4
경부선	청주JCT~남이JCT	상행	00128-1	920.6	65,302.0	60,763.2	62.9	2,827.4
경부선	청주JCT~남이JCT	하행	00128-1	958.4	65,473.0	63,139.4	62.9	2,827.4
경부선	남이JCT~청주IC	상행	00129	511.8	35,696.0	35,033.9	62.9	2,827.4
경부선	남이JCT~청주IC	하행	00129	542.4	37,334.0	36,958.0	62.9	2,827.4
경부선	청주IC~목천IC	상행	00130	562.5	40,932.0	38,223.3	62.9	2,827.4
경부선	청주IC~목천IC	하행	00130	602.7	43,177.0	40,753.1	62.9	2,827.4
경부선	목천IC~천안JCT	상행	00131	586.4	39,625.0	39,729.7	62.9	2,827.4
경부선	목천IC~천안JCT	하행	00131	635.4	43,069.0	42,811.4	62.9	2,827.4
경부선	천안JCT~천안IC	상행	00131-1	1,007.0	72,578.0	66,196.9	62.9	2,827.4
경부선	천안JCT~천안IC	하행	00131-1	1,068.5	73,701.0	70,069.7	62.9	2,827.4
경부선	안성IC~안성JCT	상행	00132-1	1,259.6	81,960.0	82,093.9	62.9	2,827.4
경부선	안성IC~안성JCT	하행	00132-1	1,363.4	83,179.0	88,624.6	62.9	2,827.4
논산천안선	탄천IC~남공주IC	상행	02528	270.7	17,957.0	19,863.6	62.9	2,827.4
논산천안선	탄천IC~남공주IC	하행	02528	276.2	18,138.0	20,209.7	62.9	2,827.4
논산천안선	남공주IC~공주JCT	상행	02529	286.0	18,754.0	20,824.9	62.9	2,827.4
논산천안선	남공주IC~공주JCT	하행	02529	290.1	18,876.0	21,082.8	62.9	2,827.4
논산천안선	공주JCT~북공주JCT	상행	02529-1	311.2	20,923.0	22,412.1	62.9	2,827.4
논산천안선	공주JCT~북공주JCT	하행	02529-1	310.3	16,226.0	22,352.5	62.9	2,827.4
논산천안선	북공주JCT~정안IC	상행	02529-2	363.2	24,465.0	25,685.1	62.9	2,827.4
논산천안선	북공주JCT~정안IC	하행	02529-2	362.0	23,310.0	25,606.1	62.9	2,827.4
논산천안선	정안IC~남풍세IC	상행	02530	406.5	27,464.0	28,411.0	62.9	2,827.4
논산천안선	정안IC~남풍세IC	하행	02530	413.9	28,090.0	28,874.6	62.9	2,827.4
논산천안선	남풍세IC~남천안IC	상행	02530-1	412.5	27,796.0	28,783.8	62.9	2,827.4
논산천안선	남풍세IC~남천안IC	하행	02530-1	421.1	28,531.0	29,324.8	62.9	2,827.4
논산천안선	남천안IC~천안JCT	상행	02531	500.1	20,444.0	34,298.8	62.9	2,827.4
논산천안선	남천안IC~천안JCT	하행	02531	505.7	32,591.0	34,651.9	62.9	2,827.4
중부선	남이JCT~서청주IC	상행	03522	410.6	28,079.0	28,665.8	62.9	2,827.4
중부선	남이JCT~서청주IC	하행	03522	414.8	29,875.0	28,932.9	62.9	2,827.4
중부선	서청주IC~오창IC	상행	03523	444.6	32,573.0	30,808.0	62.9	2,827.4
중부선	서청주IC~오창IC	하행	03523	433.9	31,051.0	30,131.9	62.9	2,827.4
중부선	오창IC~증평IC	상행	03524	415.2	29,872.0	28,958.7	62.9	2,827.4
중부선	오창IC~증평IC	하행	03524	422.8	30,033.0	29,433.8	62.9	2,827.4
중부선	증평IC~진천IC	상행	03525	432.2	29,658.0	30,025.0	62.9	2,827.4
중부선	증평IC~진천IC	하행	03525	424.1	28,423.0	29,514.4	62.9	2,827.4
중부선	진천IC~대소JCT	상행	03526	409.1	28,701.0	28,573.5	62.9	2,827.4
중부선	진천IC~대소JCT	하행	03526	402.5	28,320.0	28,155.2	62.9	2,827.4

■ 구간별 AADT 추정 결과(GLR모형, 일반국도)

노선	구간명	상/하행	지점번호	AADP (건/일)	AADT (대/일)	추정교통량 (대/일)	기울기	절편
1호선	금남~조치원	상행	0127-2	123.5	15,685.0	10,601.9	62.9	2,827.4
1호선	금남~조치원	하행	0127-2	128.7	15,699.0	10,926.5	62.9	2,827.4
1호선	조치원~전의	상행	0127-3	133.2	6,967.0	11,208.4	62.9	2,827.4
1호선	조치원~전의	하행	0127-3	130.5	6,928.0	11,039.5	62.9	2,827.4
1호선	남~조치원	상행	0127-5	222.5	13,150.0	16,829.4	62.9	2,827.4
1호선	남~조치원	하행	0127-5	215.6	12,836.0	16,392.7	62.9	2,827.4
1호선	대전~청주	상행	0127-6	232.2	13,649.0	17,437.4	62.9	2,827.4
1호선	대전~청주	하행	0127-6	220.0	13,418.0	16,673.3	62.9	2,827.4
1호선	전동~쌍전	상행	0127-8	175.9	14,301.0	13,899.5	62.9	2,827.4
1호선	전동~쌍전	하행	0127-8	174.4	13,975.0	13,802.8	62.9	2,827.4
1호선	조치원~천안	상행	0128-2	118.7	5,931.0	10,300.0	62.9	2,827.4
1호선	조치원~천안	하행	0128-2	115.6	5,424.0	10,099.4	62.9	2,827.4
1호선	전의~천안	상행	0129-1	216.1	16,242.0	16,426.3	62.9	2,827.4
1호선	전의~천안	하행	0129-1	209.3	15,985.0	15,996.2	62.9	2,827.4
1호선	아산~병천	상행	0130-0	114.3	14,488.0	10,018.9	62.9	2,827.4
1호선	아산~병천	하행	0130-0	190.4	14,770.0	14,812.0	62.9	2,827.4
17호선	청주~현도	상행	1720-0	207.7	16,427.0	15,898.5	62.9	2,827.4
17호선	청주~현도	하행	1720-0	208.0	16,301.0	15,917.9	62.9	2,827.4
17호선	청주~진천	상행	1721-0	207.6	17,123.0	15,892.1	62.9	2,827.4
17호선	청주~진천	하행	1721-0	202.3	16,543.0	15,555.4	62.9	2,827.4
17호선	청주~진천	상행	1722-2	200.0	15,386.0	15,416.0	62.9	2,827.4
17호선	청주~진천	하행	1722-2	197.7	13,734.0	15,266.5	62.9	2,827.4
21호선	배방~천안	상행	2107-0	352.8	22,187.0	25,026.1	62.9	2,827.4
21호선	배방~천안	하행	2107-0	319.2	32,155.0	22,914.1	62.9	2,827.4
21호선	천안~동	상행	2109-0	151.9	10,964.0	12,389.5	62.9	2,827.4
21호선	천안~동	하행	2109-0	162.7	10,508.0	13,068.4	62.9	2,827.4
21호선	천안~동	상행	2109-3	190.4	16,345.0	14,812.0	62.9	2,827.4
21호선	천안~동	하행	2109-3	186.0	16,182.0	14,532.2	62.9	2,827.4
21호선	병천~진천	상행	2109-4	46.2	4,247.0	5,737.2	62.9	2,827.4
21호선	병천~진천	하행	2109-4	46.4	4,361.0	5,745.5	62.9	2,827.4
21호선	천안~병천	상행	2109-5	192.9	18,724.0	14,966.9	62.9	2,827.4
21호선	천안~병천	하행	2109-5	196.8	18,859.0	15,209.7	62.9	2,827.4
23호선	행정~공주	상행	2324-3	72.3	7,195.0	7,377.8	62.9	2,827.4
23호선	행정~공주	하행	2324-3	68.4	6,886.0	7,129.3	62.9	2,827.4
23호선	행정~공주	상행	2325-1	77.3	7,214.0	7,693.3	62.9	2,827.4
23호선	행정~공주	하행	2325-1	77.2	6,750.0	7,686.7	62.9	2,827.4
25호선	남일~가덕	상행	2518-2	51.9	7,365.0	6,095.2	62.9	2,827.4
25호선	남일~가덕	하행	2518-2	51.6	7,035.0	6,073.7	62.9	2,827.4
25호선	두산~남일	상행	2518-3	91.3	11,589.0	8,574.5	62.9	2,827.4
25호선	두산~남일	하행	2518-3	92.9	11,807.0	8,672.5	62.9	2,827.4
36호선	화산~증평	상행	3409-0	52.4	7,361.0	6,122.1	62.9	2,827.4
36호선	화산~증평	하행	3409-0	52.6	7,876.0	6,138.2	62.9	2,827.4
36호선	조치원~청주	상행	3607-0	200.4	19,704.0	15,436.5	62.9	2,827.4
36호선	조치원~청주	하행	3607-0	189.6	20,090.0	14,757.9	62.9	2,827.4
36호선	조치원~강내	상행	3607-1	176.1	13,279.0	13,908.5	62.9	2,827.4
36호선	조치원~강내	하행	3607-1	175.1	13,254.0	13,846.8	62.9	2,827.4
36호선	내수~초정	상행	3608-0	22.4	7,292.0	4,234.2	62.9	2,827.4
36호선	내수~초정	하행	3608-0	100.4	8,205.0	9,146.5	62.9	2,827.4
36호선	북일~증평	상행	3609-0	92.1	10,596.0	8,625.4	62.9	2,827.4
36호선	북일~증평	하행	3609-0	10.6	10,495.0	3,492.3	62.9	2,827.4

■ 구간별 AADT 추정 결과(SWA모형, 고속도로)

노선	구간명	상/하행	지점번호	AADP (건/일)	AADT (대/일)	추정교통량 (대/일)	기울기	절편
대전남부순환선	서대전JCT~서대전IC	상행	30001	233.5	15,779.0	16,080.9	-	-
대전남부순환선	서대전JCT~서대전IC	하행	30001	238.9	16,253.0	15,429.9	-	-
대전남부순환선	서대전IC~안영IC	상행	30002	219.6	15,714.0	12,790.9	-	-
대전남부순환선	서대전IC~안영IC	하행	30002	216.2	15,702.0	13,909.6	-	-
대전남부순환선	안영IC~산내JCT	상행	30003	203.3	15,211.0	12,508.7	-	-
대전남부순환선	안영IC~산내JCT	하행	30003	219.8	15,488.0	12,700.2	-	-
경부선	대전IC~회덕JCT	상행	00125	604.7	42,846.0	27,687.3	-	-
경부선	대전IC~회덕JCT	하행	00125	604.6	41,633.0	31,923.3	-	-
경부선	회덕JCT~신탄진IC	상행	00126	700.7	47,325.0	27,453.2	-	-
경부선	회덕JCT~신탄진IC	하행	00126	708.1	48,667.0	29,422.2	-	-
경부선	신탄진IC~남청주IC	상행	00127	789.5	53,319.0	17,962.4	-	-
경부선	신탄진IC~남청주IC	하행	00127	792.4	55,253.0	27,439.4	-	-
경부선	남청주IC~청주JCT	상행	00128	771.6	40,519.0	17,012.9	-	-
경부선	남청주IC~청주JCT	하행	00128	775.4	55,312.0	30,620.0	-	-
경부선	청주JCT~남이JCT	상행	00128-1	920.6	65,302.0	38,411.6	-	-
경부선	청주JCT~남이JCT	하행	00128-1	958.4	65,473.0	28,351.9	-	-
경부선	남이JCT~청주IC	상행	00129	511.8	35,696.0	16,680.9	-	-
경부선	남이JCT~청주IC	하행	00129	542.4	37,334.0	40,225.2	-	-
경부선	청주IC~목천IC	상행	00130	562.5	40,932.0	23,532.3	-	-
경부선	청주IC~목천IC	하행	00130	602.7	43,177.0	22,651.5	-	-
경부선	목천IC~천안JCT	상행	00131	586.4	39,625.0	36,500.2	-	-
경부선	목천IC~천안JCT	하행	00131	635.4	43,069.0	25,694.5	-	-
경부선	천안JCT~천안IC	상행	00131-1	1,007.0	72,578.0	28,559.2	-	-
경부선	천안JCT~천안IC	하행	00131-1	1,068.5	73,701.0	36,044.1	-	-
경부선	안성IC~안성JCT	상행	00132-1	1,259.6	81,960.0	16,104.7	-	-
경부선	안성IC~안성JCT	하행	00132-1	1,363.4	83,179.0	18,788.9	-	-
논산천안선	탄천IC~남공주IC	상행	02528	270.7	17,957.0	7,987.3	-	-
논산천안선	탄천IC~남공주IC	하행	02528	276.2	18,138.0	9,442.8	-	-
논산천안선	남공주IC~공주JCT	상행	02529	286.0	18,754.0	15,231.9	-	-
논산천안선	남공주IC~공주JCT	하행	02529	290.1	18,876.0	14,753.2	-	-
논산천안선	공주JCT~북공주JCT	상행	02529-1	311.2	20,923.0	11,550.0	-	-
논산천안선	공주JCT~북공주JCT	하행	02529-1	310.3	16,226.0	14,204.6	-	-
논산천안선	북공주JCT~정안IC	상행	02529-2	363.2	24,465.0	9,695.1	-	-
논산천안선	북공주JCT~정안IC	하행	02529-2	362.0	23,310.0	12,603.0	-	-
논산천안선	정안IC~남풍세IC	상행	02530	406.5	27,464.0	14,970.9	-	-
논산천안선	정안IC~남풍세IC	하행	02530	413.9	28,090.0	19,872.8	-	-
논산천안선	남풍세IC~남천안IC	상행	02530-1	412.5	27,796.0	14,704.1	-	-
논산천안선	남풍세IC~남천안IC	하행	02530-1	421.1	28,531.0	14,997.8	-	-
논산천안선	남천안IC~천안JCT	상행	02531	500.1	20,444.0	23,869.9	-	-
논산천안선	남천안IC~천안JCT	하행	02531	505.7	32,591.0	17,086.8	-	-
중부선	남이JCT~서청주IC	상행	03522	410.6	28,079.0	21,334.9	-	-
중부선	남이JCT~서청주IC	하행	03522	414.8	29,875.0	40,225.2	-	-
중부선	서청주IC~오창IC	상행	03523	444.6	32,573.0	20,207.7	-	-
중부선	서청주IC~오창IC	하행	03523	433.9	31,051.0	24,639.5	-	-
중부선	오창IC~증평IC	상행	03524	415.2	29,872.0	16,678.7	-	-
중부선	오창IC~증평IC	하행	03524	422.8	30,033.0	19,369.2	-	-
중부선	증평IC~진천IC	상행	03525	432.2	29,658.0	14,716.9	-	-
중부선	증평IC~진천IC	하행	03525	424.1	28,423.0	13,405.1	-	-
중부선	진천IC~대소JCT	상행	03526	409.1	28,701.0	15,855.4	-	-
중부선	진천IC~대소JCT	하행	03526	402.5	28,320.0	16,909.9	-	-



■ 구간별 AADT 추정 결과(SWA모형, 일반국도)

노선	구간명	상/하행	지점번호	AADP (건/일)	AADT (대/일)	추정교통량 (대/일)	기울기	절편
1호선	금남~조치원	상행	0127-2	123.5	15,685.0	12,151.2	-	-
1호선	금남~조치원	하행	0127-2	128.7	15,699.0	12,449.2	-	-
1호선	조치원~전의	상행	0127-3	133.2	6,967.0	11,279.5	-	-
1호선	조치원~전의	하행	0127-3	130.5	6,928.0	11,918.1	-	-
1호선	남~조치원	상행	0127-5	222.5	13,150.0	13,538.4	-	-
1호선	남~조치원	하행	0127-5	215.6	12,836.0	13,972.2	-	-
1호선	대전~청주	상행	0127-6	232.2	13,649.0	14,299.5	-	-
1호선	대전~청주	하행	0127-6	220.0	13,418.0	13,685.7	-	-
1호선	전동~쌍전	상행	0127-8	175.9	14,301.0	13,386.2	-	-
1호선	전동~쌍전	하행	0127-8	174.4	13,975.0	14,445.8	-	-
1호선	조치원~천안	상행	0128-2	118.7	5,931.0	6,048.8	-	-
1호선	조치원~천안	하행	0128-2	115.6	5,424.0	6,655.1	-	-
1호선	전의~천안	상행	0129-1	216.1	16,242.0	11,326.4	-	-
1호선	전의~천안	하행	0129-1	209.3	15,985.0	7,485.7	-	-
1호선	아산~병천	상행	0130-0	114.3	14,488.0	19,006.2	-	-
1호선	아산~병천	하행	0130-0	190.4	14,770.0	19,687.0	-	-
17호선	청주~현도	상행	1720-0	207.7	16,427.0	20,463.9	-	-
17호선	청주~현도	하행	1720-0	208.0	16,301.0	14,967.1	-	-
17호선	청주~진천	상행	1721-0	207.6	17,123.0	13,711.9	-	-
17호선	청주~진천	하행	1721-0	202.3	16,543.0	12,106.6	-	-
17호선	청주~진천	상행	1722-2	200.0	15,386.0	14,328.5	-	-
17호선	청주~진천	하행	1722-2	197.7	13,734.0	13,109.0	-	-
21호선	배방~천안	상행	2107-0	352.8	22,187.0	19,710.5	-	-
21호선	배방~천안	하행	2107-0	319.2	32,155.0	17,302.8	-	-
21호선	천안~동	상행	2109-0	151.9	10,964.0	15,705.9	-	-
21호선	천안~동	하행	2109-0	162.7	10,508.0	18,473.0	-	-
21호선	천안~동	상행	2109-3	190.4	16,345.0	12,323.6	-	-
21호선	천안~동	하행	2109-3	186.0	16,182.0	12,352.8	-	-
21호선	병천~진천	상행	2109-4	46.2	4,247.0	7,729.5	-	-
21호선	병천~진천	하행	2109-4	46.4	4,361.0	12,232.9	-	-
21호선	천안~병천	상행	2109-5	192.9	18,724.0	25,903.7	-	-
21호선	천안~병천	하행	2109-5	196.8	18,859.0	18,291.4	-	-
23호선	행정~공주	상행	2324-3	72.3	7,195.0	9,230.7	-	-
23호선	행정~공주	하행	2324-3	68.4	6,886.0	8,577.9	-	-
23호선	행정~공주	상행	2325-1	77.3	7,214.0	9,089.4	-	-
23호선	행정~공주	하행	2325-1	77.2	6,750.0	9,113.0	-	-
25호선	남일~가덕	상행	2518-2	51.9	7,365.0	7,232.5	-	-
25호선	남일~가덕	하행	2518-2	51.6	7,035.0	7,296.9	-	-
25호선	두산~남일	상행	2518-3	91.3	11,589.0	13,201.9	-	-
25호선	두산~남일	하행	2518-3	92.9	11,807.0	10,383.0	-	-
36호선	화산~증평	상행	3409-0	52.4	7,361.0	8,528.3	-	-
36호선	화산~증평	하행	3409-0	52.6	7,876.0	7,619.5	-	-
36호선	조치원~청주	상행	3607-0	200.4	19,704.0	17,681.3	-	-
36호선	조치원~청주	하행	3607-0	189.6	20,090.0	16,242.6	-	-
36호선	조치원~강내	상행	3607-1	176.1	13,279.0	16,422.1	-	-
36호선	조치원~강내	하행	3607-1	175.1	13,254.0	15,821.7	-	-
36호선	내수~초정	상행	3608-0	22.4	7,292.0	8,242.0	-	-
36호선	내수~초정	하행	3608-0	100.4	8,205.0	9,914.3	-	-
36호선	북일~증평	상행	3609-0	92.1	10,596.0	7,942.2	-	-
36호선	북일~증평	하행	3609-0	10.6	10,495.0	10,033.3	-	-

■ 구간별 AADT 추정 결과(KL-CI<sub>NB</sub>모형, 고속도로)

노선	구간명	상/하행	지점번호	AADP (건/일)	AADT (대/일)	추정교통량 (대/일)	기율기	절편
대전남부순환선	서대전JCT~서대전IC	상행	30001	233.5	15,779.0	16,648.7	71.3	-
대전남부순환선	서대전JCT~서대전IC	하행	30001	238.9	16,253.0	17,771.4	74.4	-
대전남부순환선	서대전IC~안영IC	상행	30002	219.6	15,714.0	16,334.9	74.4	-
대전남부순환선	서대전IC~안영IC	하행	30002	216.2	15,702.0	15,412.0	71.3	-
대전남부순환선	안영IC~산내JCT	상행	30003	203.3	15,211.0	14,770.7	72.6	-
대전남부순환선	안영IC~산내JCT	하행	30003	219.8	15,488.0	15,415.3	70.1	-
경부선	대전IC~회덕JCT	상행	00125	604.7	42,846.0	42,849.4	70.9	-
경부선	대전IC~회덕JCT	하행	00125	604.6	41,633.0	41,629.7	68.9	-
경부선	회덕JCT~신탄진IC	상행	00126	700.7	47,325.0	48,247.6	68.9	-
경부선	회덕JCT~신탄진IC	하행	00126	708.1	48,667.0	50,179.7	70.9	-
경부선	신탄진IC~남청주IC	상행	00127	789.5	53,319.0	56,594.8	71.7	-
경부선	신탄진IC~남청주IC	하행	00127	792.4	55,253.0	55,717.4	70.3	-
경부선	남청주IC~청주JCT	상행	00128	771.6	40,519.0	52,766.7	68.4	-
경부선	남청주IC~청주JCT	하행	00128	775.4	55,312.0	54,071.7	69.7	-
경부선	청주JCT~남이JCT	상행	00128-1	920.6	65,302.0	65,745.0	71.4	-
경부선	청주JCT~남이JCT	하행	00128-1	958.4	65,473.0	63,078.6	65.8	-
경부선	남이JCT~청주IC	상행	00129	511.8	35,696.0	36,301.5	70.9	-
경부선	남이JCT~청주IC	하행	00129	542.4	37,334.0	38,730.9	71.4	-
경부선	청주IC~목천IC	상행	00130	562.5	40,932.0	41,166.8	73.2	-
경부선	청주IC~목천IC	하행	00130	602.7	43,177.0	40,935.3	67.9	-
경부선	목천IC~천안JCT	상행	00131	586.4	39,625.0	41,876.4	71.4	-
경부선	목천IC~천안JCT	하행	00131	635.4	43,069.0	43,156.8	67.9	-
경부선	천안JCT~천안IC	상행	00131-1	1,007.0	72,578.0	72,567.6	72.1	-
경부선	천안JCT~천안IC	하행	00131-1	1,068.5	73,701.0	74,213.9	69.5	-
경부선	안성IC~안성JCT	상행	00132-1	1,259.6	81,960.0	82,495.4	65.5	-
경부선	안성IC~안성JCT	하행	00132-1	1,363.4	83,179.0	75,568.2	55.4	-
논산천안선	탄천IC~남공주IC	상행	02528	270.7	17,957.0	18,216.9	67.3	-
논산천안선	탄천IC~남공주IC	하행	02528	276.2	18,138.0	18,587.1	67.3	-
논산천안선	남공주IC~공주JCT	상행	02529	286.0	18,754.0	18,650.2	65.2	-
논산천안선	남공주IC~공주JCT	하행	02529	290.1	18,876.0	18,859.1	65.0	-
논산천안선	공주JCT~북공주JCT	상행	02529-1	311.2	20,923.0	20,961.7	67.4	-
논산천안선	공주JCT~북공주JCT	하행	02529-1	310.3	16,226.0	13,853.1	44.6	-
논산천안선	북공주JCT~정안IC	상행	02529-2	363.2	24,465.0	28,156.3	77.5	-
논산천안선	북공주JCT~정안IC	하행	02529-2	362.0	23,310.0	28,058.9	77.5	-
논산천안선	정안IC~남풍세IC	상행	02530	406.5	27,464.0	27,508.2	67.7	-
논산천안선	정안IC~남풍세IC	하행	02530	413.9	28,090.0	27,885.0	67.4	-
논산천안선	남풍세IC~남천안IC	상행	02530-1	412.5	27,796.0	27,228.5	66.0	-
논산천안선	남풍세IC~남천안IC	하행	02530-1	421.1	28,531.0	28,367.1	67.4	-
논산천안선	남천안IC~천안JCT	상행	02531	500.1	20,444.0	34,593.1	69.2	-
논산천안선	남천안IC~천안JCT	하행	02531	505.7	32,591.0	32,591.0	64.4	-
중부선	남이JCT~서청주IC	상행	03522	410.6	28,079.0	29,123.7	70.9	-
중부선	남이JCT~서청주IC	하행	03522	414.8	29,875.0	28,339.5	68.3	-
중부선	서청주IC~오창IC	상행	03523	444.6	32,573.0	35,463.2	79.8	-
중부선	서청주IC~오창IC	하행	03523	433.9	31,051.0	31,381.4	72.3	-
중부선	오창IC~증평IC	상행	03524	415.2	29,872.0	33,119.3	79.8	-
중부선	오창IC~증평IC	하행	03524	422.8	30,033.0	33,721.4	79.8	-
중부선	증평IC~진천IC	상행	03525	432.2	29,658.0	30,346.8	70.2	-
중부선	증평IC~진천IC	하행	03525	424.1	28,423.0	29,839.6	70.4	-
중부선	진천IC~대소JCT	상행	03526	409.1	28,701.0	28,727.2	70.2	-
중부선	진천IC~대소JCT	하행	03526	402.5	28,320.0	27,896.3	69.3	-

■ 구간별 AADT 추정 결과(KL-CI<sub>NB</sub>모형, 일반국도)

노선	구간명	상/하행	지점번호	AADP (건/일)	AADT (대/일)	추정교통량 (대/일)	기율기	절편
1호선	금남~조치원	상행	0127-2	123.5	15,685.0	8,355.1	67.6	-
1호선	금남~조치원	하행	0127-2	128.7	15,699.0	15,685.0	121.9	-
1호선	조치원~전의	상행	0127-3	133.2	6,967.0	7,110.2	53.4	-
1호선	조치원~전의	하행	0127-3	130.5	6,928.0	6,967.0	53.4	-
1호선	남~조치원	상행	0127-5	222.5	13,150.0	13,249.1	59.5	-
1호선	남~조치원	하행	0127-5	215.6	12,836.0	12,836.0	59.5	-
1호선	대전~청주	상행	0127-6	232.2	13,649.0	13,721.1	59.1	-
1호선	대전~청주	하행	0127-6	220.0	13,418.0	13,101.5	59.5	-
1호선	전동~쌍전	상행	0127-8	175.9	14,301.0	14,098.1	80.1	-
1호선	전동~쌍전	하행	0127-8	174.4	13,975.0	13,975.0	80.1	-
1호선	조치원~천안	상행	0128-2	118.7	5,931.0	6,094.6	51.3	-
1호선	조치원~천안	하행	0128-2	115.6	5,424.0	5,278.4	45.7	-
1호선	전의~천안	상행	0129-1	216.1	16,242.0	16,439.6	76.1	-
1호선	전의~천안	하행	0129-1	209.3	15,985.0	15,728.2	75.2	-
1호선	아산~병천	상행	0130-0	114.3	14,488.0	8,693.6	76.1	-
1호선	아산~병천	하행	0130-0	190.4	14,770.0	14,488.0	76.1	-
17호선	청주~현도	상행	1720-0	207.7	16,427.0	16,402.6	79.0	-
17호선	청주~현도	하행	1720-0	208.0	16,301.0	16,325.3	78.5	-
17호선	청주~진천	상행	1721-0	207.6	17,123.0	16,825.2	81.0	-
17호선	청주~진천	하행	1721-0	202.3	16,543.0	16,425.4	81.2	-
17호선	청주~진천	상행	1722-2	200.0	15,386.0	15,386.0	76.9	-
17호선	청주~진천	하행	1722-2	197.7	13,734.0	15,203.2	76.9	-
21호선	배방~천안	상행	2107-0	352.8	22,187.0	29,144.2	82.6	-
21호선	배방~천안	하행	2107-0	319.2	32,155.0	26,668.0	83.5	-
21호선	천안~동	상행	2109-0	151.9	10,964.0	10,964.0	72.2	-
21호선	천안~동	하행	2109-0	162.7	10,508.0	11,742.5	72.2	-
21호선	천안~동	상행	2109-3	190.4	16,345.0	16,345.0	85.8	-
21호선	천안~동	하행	2109-3	186.0	16,182.0	15,963.3	85.8	-
21호선	병천~진천	상행	2109-4	46.2	4,247.0	4,247.0	91.9	-
21호선	병천~진천	하행	2109-4	46.4	4,361.0	4,259.1	91.9	-
21호선	천안~병천	상행	2109-5	192.9	18,724.0	18,489.2	95.8	-
21호선	천안~병천	하행	2109-5	196.8	18,859.0	18,859.0	95.8	-
23호선	행정~공주	상행	2324-3	72.3	7,195.0	7,195.0	99.5	-
23호선	행정~공주	하행	2324-3	68.4	6,886.0	6,802.1	99.5	-
23호선	행정~공주	상행	2325-1	77.3	7,214.0	6,759.1	87.4	-
23호선	행정~공주	하행	2325-1	77.2	6,750.0	7,204.3	93.3	-
25호선	남일~가덕	상행	2518-2	51.9	7,365.0	7,081.6	136.4	-
25호선	남일~가덕	하행	2518-2	51.6	7,035.0	7,316.6	141.8	-
25호선	두산~남일	상행	2518-3	91.3	11,589.0	11,609.1	127.1	-
25호선	두산~남일	하행	2518-3	92.9	11,807.0	11,786.6	126.9	-
36호선	화산~증평	상행	3409-0	52.4	7,361.0	7,325.1	139.9	-
36호선	화산~증평	하행	3409-0	52.6	7,876.0	7,361.0	139.9	-
36호선	조치원~청주	상행	3607-0	200.4	19,704.0	20,089.9	100.3	-
36호선	조치원~청주	하행	3607-0	189.6	20,090.0	19,008.8	100.3	-
36호선	조치원~강내	상행	3607-1	176.1	13,279.0	13,279.0	75.4	-
36호선	조치원~강내	하행	3607-1	175.1	13,254.0	13,254.0	75.7	-
36호선	내수~조정	상행	3608-0	22.4	7,292.0	2,531.0	113.2	-
36호선	내수~조정	하행	3608-0	100.4	8,205.0	11,369.5	113.2	-
36호선	북일~증평	상행	3609-0	92.1	10,596.0	10,432.0	113.2	-
36호선	북일~증평	하행	3609-0	10.6	10,495.0	1,203.5	113.9	-

■ 구간별 AADT 추정 결과(KL-PD<sub>NB</sub>모형, 고속도로)

노선	구간명	상/하행	지점번호	AADP (건/일)	AADT (대/일)	추정교통량 (대/일)	기율기	절편
대전남부순환선	서대전JCT~서대전IC	상행	30001	233.5	15,779.0	15,884.6	68.0	-
대전남부순환선	서대전JCT~서대전IC	하행	30001	238.9	16,253.0	16,174.5	67.7	-
대전남부순환선	서대전IC~안영IC	상행	30002	219.6	15,714.0	15,952.4	72.6	-
대전남부순환선	서대전IC~안영IC	하행	30002	216.2	15,702.0	15,467.4	71.6	-
대전남부순환선	안영IC~산내JCT	상행	30003	203.3	15,211.0	14,549.9	71.6	-
대전남부순환선	안영IC~산내JCT	하행	30003	219.8	15,488.0	15,684.0	71.3	-
경부선	대전IC~회덕JCT	상행	00125	604.7	42,846.0	42,849.4	70.9	-
경부선	대전IC~회덕JCT	하행	00125	604.6	41,633.0	41,629.7	68.9	-
경부선	회덕JCT~신탄진IC	상행	00126	700.7	47,325.0	48,160.4	68.7	-
경부선	회덕JCT~신탄진IC	하행	00126	708.1	48,667.0	48,669.0	68.7	-
경부선	신탄진IC~남청주IC	상행	00127	789.5	53,319.0	55,050.1	69.7	-
경부선	신탄진IC~남청주IC	하행	00127	792.4	55,253.0	54,460.1	68.7	-
경부선	남청주IC~청주JCT	상행	00128	771.6	40,519.0	54,254.8	70.3	-
경부선	남청주IC~청주JCT	하행	00128	775.4	55,312.0	55,588.7	71.7	-
경부선	청주JCT~남이JCT	상행	00128-1	920.6	65,302.0	62,960.0	68.4	-
경부선	청주JCT~남이JCT	하행	00128-1	958.4	65,473.0	67,980.3	70.9	-
경부선	남이JCT~청주IC	상행	00129	511.8	35,696.0	36,547.6	71.4	-
경부선	남이JCT~청주IC	하행	00129	542.4	37,334.0	37,090.4	68.4	-
경부선	청주IC~목천IC	상행	00130	562.5	40,932.0	41,166.9	73.2	-
경부선	청주IC~목천IC	하행	00130	602.7	43,177.0	43,857.4	72.8	-
경부선	목천IC~천안JCT	상행	00131	586.4	39,625.0	39,749.4	67.8	-
경부선	목천IC~천안JCT	하행	00131	635.4	43,069.0	45,520.2	71.6	-
경부선	천안JCT~천안IC	상행	00131-1	1,007.0	72,578.0	68,259.0	67.8	-
경부선	천안JCT~천안IC	하행	00131-1	1,068.5	73,701.0	72,430.6	67.8	-
경부선	안성IC~안성JCT	상행	00132-1	1,259.6	81,960.0	82,495.9	65.5	-
경부선	안성IC~안성JCT	하행	00132-1	1,363.4	83,179.0	78,066.4	57.3	-
논산천안선	탄천IC~남공주IC	상행	02528	270.7	17,957.0	19,918.7	73.6	-
논산천안선	탄천IC~남공주IC	하행	02528	276.2	18,138.0	18,506.6	67.0	-
논산천안선	남공주IC~공주JCT	상행	02529	286.0	18,754.0	18,650.2	65.2	-
논산천안선	남공주IC~공주JCT	하행	02529	290.1	18,876.0	19,146.4	66.0	-
논산천안선	공주JCT~북공주JCT	상행	02529-1	311.2	20,923.0	20,294.8	65.2	-
논산천안선	공주JCT~북공주JCT	하행	02529-1	310.3	16,226.0	20,233.1	65.2	-
논산천안선	북공주JCT~정안IC	상행	02529-2	363.2	24,465.0	23,391.0	64.4	-
논산천안선	북공주JCT~정안IC	하행	02529-2	362.0	23,310.0	24,380.3	67.4	-
논산천안선	정안IC~남풍세IC	상행	02530	406.5	27,464.0	27,388.9	67.4	-
논산천안선	정안IC~남풍세IC	하행	02530	413.9	28,090.0	28,598.9	69.1	-
논산천안선	남풍세IC~남천안IC	상행	02530-1	412.5	27,796.0	27,228.5	66.0	-
논산천안선	남풍세IC~남천안IC	하행	02530-1	421.1	28,531.0	28,490.6	67.7	-
논산천안선	남천안IC~천안JCT	상행	02531	500.1	20,444.0	32,229.5	64.4	-
논산천안선	남천안IC~천안JCT	하행	02531	505.7	32,591.0	33,384.1	66.0	-
중부선	남이JCT~서청주IC	상행	03522	410.6	28,079.0	29,569.4	72.0	-
중부선	남이JCT~서청주IC	하행	03522	414.8	29,875.0	28,369.3	68.4	-
중부선	서청주IC~오창IC	상행	03523	444.6	32,573.0	33,379.5	75.1	-
중부선	서청주IC~오창IC	하행	03523	433.9	31,051.0	31,247.0	72.0	-
중부선	오창IC~증평IC	상행	03524	415.2	29,872.0	33,119.3	79.8	-
중부선	오창IC~증평IC	하행	03524	422.8	30,033.0	30,578.9	72.3	-
중부선	증평IC~진천IC	상행	03525	432.2	29,658.0	30,346.8	70.2	-
중부선	증평IC~진천IC	하행	03525	424.1	28,423.0	29,101.2	68.6	-
중부선	진천IC~대소JCT	상행	03526	409.1	28,701.0	28,787.5	70.4	-
중부선	진천IC~대소JCT	하행	03526	402.5	28,320.0	28,260.6	70.2	-

■ 구간별 AADT 추정 결과(KL-PD<sub>NB</sub>모형, 일반국도)

노선	구간명	상/하행	지점번호	AADP (건/일)	AADT (대/일)	추정교통량 (대/일)	기울기	절편
1호선	금남~조치원	상행	0127-2	123.5	15,685.0	15,056.3	121.9	-
1호선	금남~조치원	하행	0127-2	128.7	15,699.0	9,395.0	73.0	-
1호선	조치원~전의	상행	0127-3	133.2	6,967.0	7,110.2	53.4	-
1호선	조치원~전의	하행	0127-3	130.5	6,928.0	6,788.5	52.0	-
1호선	남~조치원	상행	0127-5	222.5	13,150.0	13,249.2	59.5	-
1호선	남~조치원	하행	0127-5	215.6	12,836.0	12,740.0	59.1	-
1호선	대전~청주	상행	0127-6	232.2	13,649.0	14,158.5	61.0	-
1호선	대전~청주	하행	0127-6	220.0	13,418.0	13,377.7	60.8	-
1호선	전동~쌍전	상행	0127-8	175.9	14,301.0	14,098.1	80.1	-
1호선	전동~쌍전	하행	0127-8	174.4	13,975.0	14,126.1	81.0	-
1호선	조치원~천안	상행	0128-2	118.7	5,931.0	6,094.6	51.3	-
1호선	조치원~천안	하행	0128-2	115.6	5,424.0	5,278.4	45.7	-
1호선	전의~천안	상행	0129-1	216.1	16,242.0	16,439.5	76.1	-
1호선	전의~천안	하행	0129-1	209.3	15,985.0	15,728.2	75.2	-
1호선	아산~병천	상행	0130-0	114.3	14,488.0	7,896.0	69.1	-
1호선	아산~병천	하행	0130-0	190.4	14,770.0	12,909.3	67.8	-
17호선	청주~현도	상행	1720-0	207.7	16,427.0	16,402.6	79.0	-
17호선	청주~현도	하행	1720-0	208.0	16,301.0	16,325.3	78.5	-
17호선	청주~진천	상행	1721-0	207.6	17,123.0	16,980.6	81.8	-
17호선	청주~진천	하행	1721-0	202.3	16,543.0	16,425.5	81.2	-
17호선	청주~진천	상행	1722-2	200.0	15,386.0	15,674.8	78.4	-
17호선	청주~진천	하행	1722-2	197.7	13,734.0	15,203.2	76.9	-
21호선	배방~천안	상행	2107-0	352.8	22,187.0	26,835.8	76.1	-
21호선	배방~천안	하행	2107-0	319.2	32,155.0	22,867.9	71.6	-
21호선	천안~동	상행	2109-0	151.9	10,964.0	10,949.9	72.1	-
21호선	천안~동	하행	2109-0	162.7	10,508.0	11,742.5	72.2	-
21호선	천안~동	상행	2109-3	190.4	16,345.0	16,568.8	87.0	-
21호선	천안~동	하행	2109-3	186.0	16,182.0	15,963.3	85.8	-
21호선	병천~진천	상행	2109-4	46.2	4,247.0	4,348.6	94.0	-
21호선	병천~진천	하행	2109-4	46.4	4,361.0	4,259.1	91.9	-
21호선	천안~병천	상행	2109-5	192.9	18,724.0	15,152.4	78.5	-
21호선	천안~병천	하행	2109-5	196.8	18,859.0	17,118.7	87.0	-
23호선	행정~공주	상행	2324-3	72.3	7,195.0	7,283.8	100.7	-
23호선	행정~공주	하행	2324-3	68.4	6,886.0	6,802.0	99.5	-
23호선	행정~공주	상행	2325-1	77.3	7,214.0	6,759.1	87.4	-
23호선	행정~공주	하행	2325-1	77.2	6,750.0	6,379.7	82.6	-
25호선	남일~가덕	상행	2518-2	51.9	7,365.0	7,081.6	136.4	-
25호선	남일~가덕	하행	2518-2	51.6	7,035.0	7,316.6	141.8	-
25호선	두산~남일	상행	2518-3	91.3	11,589.0	11,609.1	127.1	-
25호선	두산~남일	하행	2518-3	92.9	11,807.0	11,786.6	126.9	-
36호선	화산~증평	상행	3409-0	52.4	7,361.0	5,963.6	113.9	-
36호선	화산~증평	하행	3409-0	52.6	7,876.0	5,992.8	113.9	-
36호선	조치원~청주	상행	3607-0	200.4	19,704.0	15,857.8	79.1	-
36호선	조치원~청주	하행	3607-0	189.6	20,090.0	15,004.4	79.1	-
36호선	조치원~강내	상행	3607-1	176.1	13,279.0	13,328.1	75.7	-
36호선	조치원~강내	하행	3607-1	175.1	13,254.0	13,205.2	75.4	-
36호선	내수~초정	상행	3608-0	22.4	7,292.0	1,811.6	81.0	-
36호선	내수~초정	하행	3608-0	100.4	8,205.0	8,213.1	81.8	-
36호선	북일~증평	상행	3609-0	92.1	10,596.0	8,485.1	92.1	-
36호선	북일~증평	하행	3609-0	10.6	10,495.0	1,203.5	113.9	-

■ 구간별 AADT 추정 결과(KL-ED<sub>NB</sub>모형, 고속도로)

노선	구간명	상/하행	지점번호	AADP (건/일)	AADT (대/일)	추정교통량 (대/일)	기율기	절편
대전남부순환선	서대전JCT~서대전IC	상행	30001	233.5	15,779.0	16,648.7	71.3	-
대전남부순환선	서대전JCT~서대전IC	하행	30001	238.9	16,253.0	16,730.5	70.0	-
대전남부순환선	서대전IC~안영IC	상행	30002	219.6	15,714.0	15,470.8	70.4	-
대전남부순환선	서대전IC~안영IC	하행	30002	216.2	15,702.0	15,420.8	71.3	-
대전남부순환선	안영IC~산내JCT	상행	30003	203.3	15,211.0	14,506.0	71.3	-
대전남부순환선	안영IC~산내JCT	하행	30003	219.8	15,488.0	15,415.3	70.1	-
경부선	대전IC~회덕JCT	상행	00125	604.7	42,846.0	42,655.0	70.5	-
경부선	대전IC~회덕JCT	하행	00125	604.6	41,633.0	41,554.5	68.7	-
경부선	회덕JCT~신탄진IC	상행	00126	700.7	47,325.0	49,704.8	70.9	-
경부선	회덕JCT~신탄진IC	하행	00126	708.1	48,667.0	48,668.9	68.7	-
경부선	신탄진IC~남청주IC	상행	00127	789.5	53,319.0	55,998.3	70.9	-
경부선	신탄진IC~남청주IC	하행	00127	792.4	55,253.0	55,488.0	70.0	-
경부선	남청주IC~청주JCT	상행	00128	771.6	40,519.0	52,110.6	67.5	-
경부선	남청주IC~청주JCT	하행	00128	775.4	55,312.0	54,301.9	70.0	-
경부선	청주JCT~남이JCT	상행	00128-1	920.6	65,302.0	64,293.4	69.8	-
경부선	청주JCT~남이JCT	하행	00128-1	958.4	65,473.0	65,098.2	67.9	-
경부선	남이JCT~청주IC	상행	00129	511.8	35,696.0	36,301.2	70.9	-
경부선	남이JCT~청주IC	하행	00129	542.4	37,334.0	37,051.2	68.3	-
경부선	청주IC~목천IC	상행	00130	562.5	40,932.0	41,030.9	72.9	-
경부선	청주IC~목천IC	하행	00130	602.7	43,177.0	41,171.0	68.3	-
경부선	목천IC~천안JCT	상행	00131	586.4	39,625.0	42,037.0	71.7	-
경부선	목천IC~천안JCT	하행	00131	635.4	43,069.0	43,156.9	67.9	-
경부선	천안JCT~천안IC	상행	00131-1	1,007.0	72,578.0	72,567.7	72.1	-
경부선	천안JCT~천안IC	하행	00131-1	1,068.5	73,701.0	72,996.5	68.3	-
경부선	안성IC~안성JCT	상행	00132-1	1,259.6	81,960.0	86,568.4	68.7	-
경부선	안성IC~안성JCT	하행	00132-1	1,363.4	83,179.0	94,202.4	69.1	-
논산천안선	탄천IC~남공주IC	상행	02528	270.7	17,957.0	17,929.0	66.2	-
논산천안선	탄천IC~남공주IC	하행	02528	276.2	18,138.0	18,090.4	65.5	-
논산천안선	남공주IC~공주JCT	상행	02529	286.0	18,754.0	19,161.6	67.0	-
논산천안선	남공주IC~공주JCT	하행	02529	290.1	18,876.0	18,859.0	65.0	-
논산천안선	공주JCT~북공주JCT	상행	02529-1	311.2	20,923.0	20,913.6	67.2	-
논산천안선	공주JCT~북공주JCT	하행	02529-1	310.3	16,226.0	20,481.9	66.0	-
논산천안선	북공주JCT~정안IC	상행	02529-2	363.2	24,465.0	24,419.8	67.2	-
논산천안선	북공주JCT~정안IC	하행	02529-2	362.0	23,310.0	23,895.1	66.0	-
논산천안선	정안IC~남풍세IC	상행	02530	406.5	27,464.0	27,508.2	67.7	-
논산천안선	정안IC~남풍세IC	하행	02530	413.9	28,090.0	28,114.1	67.9	-
논산천안선	남풍세IC~남천안IC	상행	02530-1	412.5	27,796.0	27,781.6	67.4	-
논산천안선	남풍세IC~남천안IC	하행	02530-1	421.1	28,531.0	28,600.1	67.9	-
논산천안선	남천안IC~천안JCT	상행	02531	500.1	20,444.0	33,945.1	67.9	-
논산천안선	남천안IC~천안JCT	하행	02531	505.7	32,591.0	33,395.1	66.0	-
중부선	남이JCT~서청주IC	상행	03522	410.6	28,079.0	29,009.7	70.7	-
중부선	남이JCT~서청주IC	하행	03522	414.8	29,875.0	29,049.5	70.0	-
중부선	서청주IC~오창IC	상행	03523	444.6	32,573.0	31,414.9	70.7	-
중부선	서청주IC~오창IC	하행	03523	433.9	31,051.0	31,247.1	72.0	-
중부선	오창IC~증평IC	상행	03524	415.2	29,872.0	29,218.4	70.4	-
중부선	오창IC~증평IC	하행	03524	422.8	30,033.0	29,526.0	69.8	-
중부선	증평IC~진천IC	상행	03525	432.2	29,658.0	30,319.0	70.2	-
중부선	증평IC~진천IC	하행	03525	424.1	28,423.0	29,839.7	70.4	-
중부선	진천IC~대소JCT	상행	03526	409.1	28,701.0	28,571.3	69.8	-
중부선	진천IC~대소JCT	하행	03526	402.5	28,320.0	28,260.7	70.2	-

■ 구간별 AADT 추정 결과(KL-ED<sub>NB</sub>모형, 일반국도)

노선	구간명	상/하행	지점번호	AADP (건/일)	AADT (대/일)	추정교통량 (대/일)	기울기	절편
1호선	금남~조치원	상행	0127-2	123.5	15,685.0	7,534.2	61.0	-
1호선	금남~조치원	하행	0127-2	128.7	15,699.0	7,663.6	59.5	-
1호선	조치원~전의	상행	0127-3	133.2	6,967.0	10,009.9	75.2	-
1호선	조치원~전의	하행	0127-3	130.5	6,928.0	9,717.5	74.5	-
1호선	남~조치원	상행	0127-5	222.5	13,150.0	13,080.9	58.8	-
1호선	남~조치원	하행	0127-5	215.6	12,836.0	13,146.0	61.0	-
1호선	대전~청주	상행	0127-6	232.2	13,649.0	13,721.1	59.1	-
1호선	대전~청주	하행	0127-6	220.0	13,418.0	13,418.0	61.0	-
1호선	전동~쌍전	상행	0127-8	175.9	14,301.0	10,398.4	59.1	-
1호선	전동~쌍전	하행	0127-8	174.4	13,975.0	10,857.4	62.3	-
1호선	조치원~천안	상행	0128-2	118.7	5,931.0	8,726.5	73.5	-
1호선	조치원~천안	하행	0128-2	115.6	5,424.0	7,849.1	67.9	-
1호선	전의~천안	상행	0129-1	216.1	16,242.0	16,439.5	76.1	-
1호선	전의~천안	하행	0129-1	209.3	15,985.0	15,685.2	75.0	-
1호선	아산~병천	상행	0130-0	114.3	14,488.0	8,890.9	77.8	-
1호선	아산~병천	하행	0130-0	190.4	14,770.0	13,938.6	73.2	-
17호선	청주~현도	상행	1720-0	207.7	16,427.0	14,037.6	67.6	-
17호선	청주~현도	하행	1720-0	208.0	16,301.0	14,626.9	70.3	-
17호선	청주~진천	상행	1721-0	207.6	17,123.0	16,680.4	80.3	-
17호선	청주~진천	하행	1721-0	202.3	16,543.0	16,425.4	81.2	-
17호선	청주~진천	상행	1722-2	200.0	15,386.0	13,865.2	69.3	-
17호선	청주~진천	하행	1722-2	197.7	13,734.0	13,700.5	69.3	-
21호선	배방~천안	상행	2107-0	352.8	22,187.0	23,655.1	67.1	-
21호선	배방~천안	하행	2107-0	319.2	32,155.0	22,164.6	69.4	-
21호선	천안~동	상행	2109-0	151.9	10,964.0	13,219.7	87.0	-
21호선	천안~동	하행	2109-0	162.7	10,508.0	13,967.0	85.8	-
21호선	천안~동	상행	2109-3	190.4	16,345.0	16,568.9	87.0	-
21호선	천안~동	하행	2109-3	186.0	16,182.0	15,963.3	85.8	-
21호선	병천~진천	상행	2109-4	46.2	4,247.0	4,198.0	90.8	-
21호선	병천~진천	하행	2109-4	46.4	4,361.0	4,361.9	94.1	-
21호선	천안~병천	상행	2109-5	192.9	18,724.0	16,556.3	85.8	-
21호선	천안~병천	하행	2109-5	196.8	18,859.0	16,887.3	85.8	-
23호선	행정~공주	상행	2324-3	72.3	7,195.0	6,920.0	95.7	-
23호선	행정~공주	하행	2324-3	68.4	6,886.0	6,774.2	99.1	-
23호선	행정~공주	상행	2325-1	77.3	7,214.0	6,104.4	78.9	-
23호선	행정~공주	하행	2325-1	77.2	6,750.0	6,379.7	82.6	-
25호선	남일~가덕	상행	2518-2	51.9	7,365.0	6,600.8	127.1	-
25호선	남일~가덕	하행	2518-2	51.6	7,035.0	6,546.1	126.9	-
25호선	두산~남일	상행	2518-3	91.3	11,589.0	11,609.1	127.1	-
25호선	두산~남일	하행	2518-3	92.9	11,807.0	11,669.2	125.6	-
36호선	화산~증평	상행	3409-0	52.4	7,361.0	4,763.4	91.0	-
36호선	화산~증평	하행	3409-0	52.6	7,876.0	4,806.9	91.4	-
36호선	조치원~청주	상행	3607-0	200.4	19,704.0	15,110.1	75.4	-
36호선	조치원~청주	하행	3607-0	189.6	20,090.0	14,349.8	75.7	-
36호선	조치원~강내	상행	3607-1	176.1	13,279.0	13,328.1	75.7	-
36호선	조치원~강내	하행	3607-1	175.1	13,254.0	13,205.2	75.4	-
36호선	내수~초정	상행	3608-0	22.4	7,292.0	2,147.4	96.1	-
36호선	내수~초정	하행	3608-0	100.4	8,205.0	9,997.0	99.6	-
36호선	북일~증평	상행	3609-0	92.1	10,596.0	8,418.1	91.4	-
36호선	북일~증평	하행	3609-0	10.6	10,495.0	1,061.1	100.4	-

■ 구간별 AADT 추정 결과(KL-CI<sub>B</sub>모형, 고속도로)

노선	구간명	상/하행	지점번호	AADP (건/일)	AADT (대/일)	추정교통량 (대/일)	기울기	절편
대전남부순환선	서대전JCT~서대전IC	상행	30001	233.5	15,779.0	16,294.0	57.3	2,921.8
대전남부순환선	서대전JCT~서대전IC	하행	30001	238.9	16,253.0	16,845.6	58.6	2,846.2
대전남부순환선	서대전IC~안영IC	상행	30002	219.6	15,714.0	15,925.4	64.8	1,689.2
대전남부순환선	서대전IC~안영IC	하행	30002	216.2	15,702.0	15,818.3	67.3	1,262.3
대전남부순환선	안영IC~산내JCT	상행	30003	203.3	15,211.0	14,855.6	66.0	1,432.4
대전남부순환선	안영IC~산내JCT	하행	30003	219.8	15,488.0	15,444.9	60.8	2,071.5
경부선	대전IC~회덕JCT	상행	00125	604.7	42,846.0	42,849.3	69.3	964.5
경부선	대전IC~회덕JCT	하행	00125	604.6	41,633.0	41,633.8	59.2	5,869.5
경부선	회덕JCT~신탄진IC	상행	00126	700.7	47,325.0	47,833.4	64.5	2,604.5
경부선	회덕JCT~신탄진IC	하행	00126	708.1	48,667.0	49,592.3	67.2	2,022.8
경부선	신탄진IC~남청주IC	상행	00127	789.5	53,319.0	53,560.8	64.5	2,604.1
경부선	신탄진IC~남청주IC	하행	00127	792.4	55,253.0	55,838.6	69.2	1,005.4
경부선	남청주IC~청주JCT	상행	00128	771.6	40,519.0	47,413.5	53.6	6,088.4
경부선	남청주IC~청주JCT	하행	00128	775.4	55,312.0	54,071.7	69.7	0.0
경부선	청주JCT~남이JCT	상행	00128-1	920.6	65,302.0	65,744.6	71.4	0.1
경부선	청주JCT~남이JCT	하행	00128-1	958.4	65,473.0	59,945.7	58.3	4,083.6
경부선	남이JCT~청주IC	상행	00129	511.8	35,696.0	36,615.9	70.2	708.2
경부선	남이JCT~청주IC	하행	00129	542.4	37,334.0	37,373.5	67.5	742.4
경부선	청주IC~목천IC	상행	00130	562.5	40,932.0	38,056.5	65.5	1,192.0
경부선	청주IC~목천IC	하행	00130	602.7	43,177.0	40,911.2	66.0	1,148.9
경부선	목천IC~천안JCT	상행	00131	586.4	39,625.0	39,032.7	64.5	1,205.6
경부선	목천IC~천안JCT	하행	00131	635.4	43,069.0	42,842.1	65.7	1,103.9
경부선	천안JCT~천안IC	상행	00131-1	1,007.0	72,578.0	72,567.6	72.1	0.0
경부선	천안JCT~천안IC	하행	00131-1	1,068.5	73,701.0	73,383.1	67.1	1,714.5
경부선	안성IC~안성JCT	상행	00132-1	1,259.6	81,960.0	80,587.4	62.8	1,506.9
경부선	안성IC~안성JCT	하행	00132-1	1,363.4	83,179.0	66,784.1	46.4	3,468.8
논산천안선	탄천IC~남공주IC	상행	02528	270.7	17,957.0	18,275.2	65.4	574.7
논산천안선	탄천IC~남공주IC	하행	02528	276.2	18,138.0	17,240.4	60.1	637.2
논산천안선	남공주IC~공주JCT	상행	02529	286.0	18,754.0	18,797.5	64.9	240.8
논산천안선	남공주IC~공주JCT	하행	02529	290.1	18,876.0	18,846.7	64.1	244.8
논산천안선	공주JCT~북공주JCT	상행	02529-1	311.2	20,923.0	20,908.9	66.4	232.7
논산천안선	공주JCT~북공주JCT	하행	02529-1	310.3	16,226.0	19,891.7	56.4	2,395.7
논산천안선	북공주JCT~정안IC	상행	02529-2	363.2	24,465.0	24,108.5	61.2	1,861.6
논산천안선	북공주JCT~정안IC	하행	02529-2	362.0	23,310.0	24,348.2	60.0	2,635.9
논산천안선	정안IC~남풍세IC	상행	02530	406.5	27,464.0	27,542.3	61.9	2,372.2
논산천안선	정안IC~남풍세IC	하행	02530	413.9	28,090.0	27,896.0	65.8	649.8
논산천안선	남풍세IC~남천안IC	상행	02530-1	412.5	27,796.0	27,241.8	64.5	647.9
논산천안선	남풍세IC~남천안IC	하행	02530-1	421.1	28,531.0	28,367.1	67.4	0.0
논산천안선	남천안IC~천안JCT	상행	02531	500.1	20,444.0	34,526.1	68.4	315.1
논산천안선	남천안IC~천안JCT	하행	02531	505.7	32,591.0	32,591.0	64.4	0.0
중부선	남이JCT~서청주IC	상행	03522	410.6	28,079.0	30,589.3	68.1	2,645.5
중부선	남이JCT~서청주IC	하행	03522	414.8	29,875.0	30,253.0	64.8	3,374.8
중부선	서청주IC~오창IC	상행	03523	444.6	32,573.0	32,722.6	70.4	1,426.2
중부선	서청주IC~오창IC	하행	03523	433.9	31,051.0	31,313.5	68.7	1,511.8
중부선	오창IC~증평IC	상행	03524	415.2	29,872.0	31,213.6	72.9	933.6
중부선	오창IC~증평IC	하행	03524	422.8	30,033.0	29,631.4	65.0	2,146.1
중부선	증평IC~진천IC	상행	03525	432.2	29,658.0	28,947.2	64.6	1,045.0
중부선	증평IC~진천IC	하행	03525	424.1	28,423.0	29,117.8	66.6	894.7
중부선	진천IC~대소JCT	상행	03526	409.1	28,701.0	28,725.9	70.2	0.4
중부선	진천IC~대소JCT	하행	03526	402.5	28,320.0	26,992.7	66.2	340.2



■ 구간별 AADT 추정 결과(KL-CI<sub>B</sub>모형, 일반국도)

노선	구간명	상/하행	지점번호	AADP (건/일)	AADT (대/일)	추정교통량 (대/일)	기울기	절편
1호선	금남~조치원	상행	0127-2	123.5	15,685.0	9,640.4	36.9	5,081.3
1호선	금남~조치원	하행	0127-2	128.7	15,699.0	15,685.0	79.7	5,423.3
1호선	조치원~전의	상행	0127-3	133.2	6,967.0	7,078.2	41.5	1,557.7
1호선	조치원~전의	하행	0127-3	130.5	6,928.0	6,967.0	42.4	1,433.0
1호선	남~조치원	상행	0127-5	222.5	13,150.0	13,150.0	34.7	5,418.1
1호선	남~조치원	하행	0127-5	215.6	12,836.0	12,836.0	45.3	3,077.4
1호선	대전~청주	상행	0127-6	232.2	13,649.0	13,816.8	32.8	6,192.2
1호선	대전~청주	하행	0127-6	220.0	13,418.0	13,239.5	33.7	5,819.9
1호선	전동~쌍전	상행	0127-8	175.9	14,301.0	14,098.1	80.1	0.5
1호선	전동~쌍전	하행	0127-8	174.4	13,975.0	13,975.0	80.1	0.5
1호선	조치원~천안	상행	0128-2	118.7	5,931.0	5,989.6	18.4	3,805.1
1호선	조치원~천안	하행	0128-2	115.6	5,424.0	5,320.7	32.4	1,574.1
1호선	전의~천안	상행	0129-1	216.1	16,242.0	16,359.5	73.0	593.4
1호선	전의~천안	하행	0129-1	209.3	15,985.0	15,772.9	68.6	1,410.7
1호선	아산~병천	상행	0130-0	114.3	14,488.0	10,781.0	47.4	5,368.1
1호선	아산~병천	하행	0130-0	190.4	14,770.0	14,488.0	74.4	311.1
17호선	청주~현도	상행	1720-0	207.7	16,427.0	16,407.6	62.9	3,352.4
17호선	청주~현도	하행	1720-0	208.0	16,301.0	16,319.1	58.3	4,192.8
17호선	청주~진천	상행	1721-0	207.6	17,123.0	16,678.3	74.5	1,210.0
17호선	청주~진천	하행	1721-0	202.3	16,543.0	16,421.3	75.3	1,198.7
17호선	청주~진천	상행	1722-2	200.0	15,386.0	14,785.7	66.5	1,482.8
17호선	청주~진천	하행	1722-2	197.7	13,734.0	15,216.2	71.4	1,095.4
21호선	배방~천안	상행	2107-0	352.8	22,187.0	26,605.5	72.6	987.6
21호선	배방~천안	하행	2107-0	319.2	32,155.0	23,583.1	70.6	1,034.7
21호선	천안~동	상행	2109-0	151.9	10,964.0	10,964.0	63.5	1,308.9
21호선	천안~동	하행	2109-0	162.7	10,508.0	11,653.0	63.9	1,260.8
21호선	천안~동	상행	2109-3	190.4	16,345.0	16,345.0	85.8	0.0
21호선	천안~동	하행	2109-3	186.0	16,182.0	16,032.6	70.2	2,966.6
21호선	병천~진천	상행	2109-4	46.2	4,247.0	4,351.5	71.7	1,034.2
21호선	병천~진천	하행	2109-4	46.4	4,361.0	4,255.7	65.9	1,200.2
21호선	천안~병천	상행	2109-5	192.9	18,724.0	18,489.3	95.8	0.1
21호선	천안~병천	하행	2109-5	196.8	18,859.0	18,859.0	95.8	0.1
23호선	행정~공주	상행	2324-3	72.3	7,195.0	7,147.1	66.1	2,367.0
23호선	행정~공주	하행	2324-3	68.4	6,886.0	6,886.0	63.3	2,556.8
23호선	행정~공주	상행	2325-1	77.3	7,214.0	6,758.6	83.5	305.0
23호선	행정~공주	하행	2325-1	77.2	6,750.0	6,788.1	48.7	3,027.9
25호선	남일~가덕	상행	2518-2	51.9	7,365.0	7,081.6	136.4	0.1
25호선	남일~가덕	하행	2518-2	51.6	7,035.0	7,035.0	132.1	219.9
25호선	두산~남일	상행	2518-3	91.3	11,589.0	11,617.8	121.5	522.0
25호선	두산~남일	하행	2518-3	92.9	11,807.0	11,779.4	122.3	417.5
36호선	화산~증평	상행	3409-0	52.4	7,361.0	7,342.1	73.7	3,485.4
36호선	화산~증평	하행	3409-0	52.6	7,876.0	7,361.0	73.2	3,507.7
36호선	조치원~청주	상행	3607-0	200.4	19,704.0	20,090.0	66.1	6,848.7
36호선	조치원~청주	하행	3607-0	189.6	20,090.0	19,401.3	63.9	7,292.9
36호선	조치원~강내	상행	3607-1	176.1	13,279.0	13,279.0	74.1	224.2
36호선	조치원~강내	하행	3607-1	175.1	13,254.0	13,254.0	52.2	4,119.2
36호선	내수~초정	상행	3608-0	22.4	7,292.0	4,801.2	31.9	4,088.0
36호선	내수~초정	하행	3608-0	100.4	8,205.0	9,372.5	85.1	825.2
36호선	북일~증평	상행	3609-0	92.1	10,596.0	9,493.3	90.8	1,129.7
36호선	북일~증평	하행	3609-0	10.6	10,495.0	4,467.8	62.5	3,807.1

■ 구간별 AADT 추정 결과(KL-PD<sub>B</sub>모형, 고속도로)

노선	구간명	상/하행	지점번호	AADP (건/일)	AADT (대/일)	추정교통량 (대/일)	기율기	절편
대전남부순환선	서대전JCT~서대전IC	상행	30001	233.5	15,779.0	16,566.2	49.8	4,933.4
대전남부순환선	서대전JCT~서대전IC	하행	30001	238.9	16,253.0	16,049.7	50.0	4,115.5
대전남부순환선	서대전IC~안영IC	상행	30002	219.6	15,714.0	15,884.8	53.0	4,238.7
대전남부순환선	서대전IC~안영IC	하행	30002	216.2	15,702.0	15,818.3	67.3	1,262.3
대전남부순환선	안영IC~산내JCT	상행	30003	203.3	15,211.0	14,561.9	63.9	1,568.9
대전남부순환선	안영IC~산내JCT	하행	30003	219.8	15,488.0	16,288.0	65.2	1,949.2
경부선	대전IC~회덕JCT	상행	00125	604.7	42,846.0	42,849.4	69.2	1,005.4
경부선	대전IC~회덕JCT	하행	00125	604.6	41,633.0	41,630.2	54.4	8,730.4
경부선	회덕JCT~신탄진IC	상행	00126	700.7	47,325.0	48,170.9	67.3	1,026.4
경부선	회덕JCT~신탄진IC	하행	00126	708.1	48,667.0	48,587.2	67.2	980.5
경부선	신탄진IC~남청주IC	상행	00127	789.5	53,319.0	54,140.8	67.3	1,023.4
경부선	신탄진IC~남청주IC	하행	00127	792.4	55,253.0	54,336.5	67.3	1,023.4
경부선	남청주IC~청주JCT	상행	00128	771.6	40,519.0	40,671.9	44.3	6,472.1
경부선	남청주IC~청주JCT	하행	00128	775.4	55,312.0	55,322.8	68.7	2,025.0
경부선	청주JCT~남이JCT	상행	00128-1	920.6	65,302.0	63,050.2	64.2	3,980.5
경부선	청주JCT~남이JCT	하행	00128-1	958.4	65,473.0	67,057.9	66.6	3,272.5
경부선	남이JCT~청주IC	상행	00129	511.8	35,696.0	33,871.2	59.7	3,326.9
경부선	남이JCT~청주IC	하행	00129	542.4	37,334.0	38,485.3	64.9	3,303.9
경부선	청주IC~목천IC	상행	00130	562.5	40,932.0	38,056.7	65.5	1,192.0
경부선	청주IC~목천IC	하행	00130	602.7	43,177.0	43,815.6	71.7	585.2
경부선	목천IC~천안JCT	상행	00131	586.4	39,625.0	39,749.4	67.8	0.0
경부선	목천IC~천안JCT	하행	00131	635.4	43,069.0	42,835.2	65.5	1,192.0
경부선	천안JCT~천안IC	상행	00131-1	1,007.0	72,578.0	68,259.0	67.8	0.0
경부선	천안JCT~천안IC	하행	00131-1	1,068.5	73,701.0	72,430.6	67.8	0.0
경부선	안성IC~안성JCT	상행	00132-1	1,259.6	81,960.0	83,041.2	65.9	0.2
경부선	안성IC~안성JCT	하행	00132-1	1,363.4	83,179.0	66,973.8	46.6	3,393.9
논산천안선	탄천IC~남공주IC	상행	02528	270.7	17,957.0	17,614.7	62.3	761.5
논산천안선	탄천IC~남공주IC	하행	02528	276.2	18,138.0	18,491.5	64.3	743.0
논산천안선	남공주IC~공주JCT	상행	02529	286.0	18,754.0	18,547.5	50.4	4,134.2
논산천안선	남공주IC~공주JCT	하행	02529	290.1	18,876.0	19,143.1	65.2	229.1
논산천안선	공주JCT~북공주JCT	상행	02529-1	311.2	20,923.0	19,553.5	62.1	227.9
논산천안선	공주JCT~북공주JCT	하행	02529-1	310.3	16,226.0	20,180.5	64.7	114.9
논산천안선	북공주JCT~정안IC	상행	02529-2	363.2	24,465.0	23,382.4	57.6	2,467.5
논산천안선	북공주JCT~정안IC	하행	02529-2	362.0	23,310.0	24,390.0	59.6	2,810.6
논산천안선	정안IC~남풍세IC	상행	02530	406.5	27,464.0	27,410.8	65.9	639.0
논산천안선	정안IC~남풍세IC	하행	02530	413.9	28,090.0	28,541.9	61.4	3,145.3
논산천안선	남풍세IC~남천안IC	상행	02530-1	412.5	27,796.0	27,234.9	65.3	317.2
논산천안선	남풍세IC~남천안IC	하행	02530-1	421.1	28,531.0	28,367.3	66.7	271.8
논산천안선	남천안IC~천안JCT	상행	02531	500.1	20,444.0	32,229.5	64.4	0.0
논산천안선	남천안IC~천안JCT	하행	02531	505.7	32,591.0	33,384.1	66.0	0.0
중부선	남이JCT~서청주IC	상행	03522	410.6	28,079.0	29,392.3	62.6	3,678.8
중부선	남이JCT~서청주IC	하행	03522	414.8	29,875.0	30,213.1	64.9	3,303.9
중부선	서청주IC~오창IC	상행	03523	444.6	32,573.0	33,126.1	71.7	1,252.5
중부선	서청주IC~오창IC	하행	03523	433.9	31,051.0	30,398.1	60.8	4,031.4
중부선	오창IC~증평IC	상행	03524	415.2	29,872.0	30,172.0	69.2	1,443.7
중부선	오창IC~증평IC	하행	03524	422.8	30,033.0	30,552.7	68.8	1,448.7
중부선	증평IC~진천IC	상행	03525	432.2	29,658.0	28,946.9	64.6	1,045.1
중부선	증평IC~진천IC	하행	03525	424.1	28,423.0	29,143.7	63.4	2,267.9
중부선	진천IC~대소JCT	상행	03526	409.1	28,701.0	28,773.6	68.3	845.3
중부선	진천IC~대소JCT	하행	03526	402.5	28,320.0	28,322.4	57.0	5,400.4

■ 구간별 AADT 추정 결과(KL-PD<sub>B</sub>모형, 일반국도)

노선	구간명	상/하행	지점번호	AADP (건/일)	AADT (대/일)	추정교통량 (대/일)	기울기	절편
1호선	금남~조치원	상행	0127-2	123.5	15,685.0	10,290.6	45.1	4,716.8
1호선	금남~조치원	하행	0127-2	128.7	15,699.0	9,656.2	38.6	4,689.6
1호선	조치원~전의	상행	0127-3	133.2	6,967.0	7,078.2	41.5	1,557.7
1호선	조치원~전의	하행	0127-3	130.5	6,928.0	6,788.5	52.0	2.6
1호선	남~조치원	상행	0127-5	222.5	13,150.0	13,175.8	49.0	2,281.0
1호선	남~조치원	하행	0127-5	215.6	12,836.0	12,791.8	51.6	1,663.3
1호선	대전~청주	상행	0127-6	232.2	13,649.0	13,842.9	35.0	5,719.7
1호선	대전~청주	하행	0127-6	220.0	13,418.0	13,214.4	35.8	5,340.3
1호선	전동~쌍전	상행	0127-8	175.9	14,301.0	14,098.1	80.1	0.1
1호선	전동~쌍전	하행	0127-8	174.4	13,975.0	14,024.5	58.9	3,752.3
1호선	조치원~천안	상행	0128-2	118.7	5,931.0	6,051.4	37.8	1,564.3
1호선	조치원~천안	하행	0128-2	115.6	5,424.0	5,320.7	32.4	1,574.0
1호선	전의~천안	상행	0129-1	216.1	16,242.0	16,275.5	73.9	311.5
1호선	전의~천안	하행	0129-1	209.3	15,985.0	15,776.0	68.2	1,509.1
1호선	아산~병천	상행	0130-0	114.3	14,488.0	10,114.0	57.4	3,551.5
1호선	아산~병천	하행	0130-0	190.4	14,770.0	14,741.5	56.6	3,961.0
17호선	청주~현도	상행	1720-0	207.7	16,427.0	16,407.6	62.9	3,352.4
17호선	청주~현도	하행	1720-0	208.0	16,301.0	16,320.2	62.3	3,366.4
17호선	청주~진천	상행	1721-0	207.6	17,123.0	16,818.8	74.4	1,367.5
17호선	청주~진천	하행	1721-0	202.3	16,543.0	16,421.3	75.3	1,198.7
17호선	청주~진천	상행	1722-2	200.0	15,386.0	15,219.0	68.8	1,448.8
17호선	청주~진천	하행	1722-2	197.7	13,734.0	15,218.3	70.6	1,269.3
21호선	배방~천안	상행	2107-0	352.8	22,187.0	26,329.9	73.0	593.4
21호선	배방~천안	하행	2107-0	319.2	32,155.0	22,221.0	67.7	627.5
21호선	천안~동	상행	2109-0	151.9	10,964.0	10,942.5	63.3	1,318.3
21호선	천안~동	하행	2109-0	162.7	10,508.0	11,720.2	70.1	314.0
21호선	천안~동	상행	2109-3	190.4	16,345.0	16,568.8	87.0	0.0
21호선	천안~동	하행	2109-3	186.0	16,182.0	14,609.7	78.5	0.0
21호선	병천~진천	상행	2109-4	46.2	4,247.0	4,351.6	70.9	1,075.2
21호선	병천~진천	하행	2109-4	46.4	4,361.0	4,256.0	68.1	1,100.5
21호선	천안~병천	상행	2109-5	192.9	18,724.0	14,290.3	70.5	691.4
21호선	천안~병천	하행	2109-5	196.8	18,859.0	15,455.4	78.5	0.0
23호선	행정~공주	상행	2324-3	72.3	7,195.0	7,106.9	55.9	3,062.1
23호선	행정~공주	하행	2324-3	68.4	6,886.0	6,911.8	55.9	3,093.9
23호선	행정~공주	상행	2325-1	77.3	7,214.0	6,757.0	67.9	1,509.7
23호선	행정~공주	하행	2325-1	77.2	6,750.0	6,788.2	69.7	1,410.0
25호선	남일~가덕	상행	2518-2	51.9	7,365.0	7,077.4	124.1	632.8
25호선	남일~가덕	하행	2518-2	51.6	7,035.0	6,904.0	120.0	715.7
25호선	두산~남일	상행	2518-3	91.3	11,589.0	11,868.4	114.3	1,429.6
25호선	두산~남일	하행	2518-3	92.9	11,807.0	11,888.0	128.0	0.0
36호선	화산~증평	상행	3409-0	52.4	7,361.0	7,342.1	73.9	3,474.2
36호선	화산~증평	하행	3409-0	52.6	7,876.0	7,900.9	97.2	2,787.6
36호선	조치원~청주	상행	3607-0	200.4	19,704.0	15,553.4	58.9	3,752.3
36호선	조치원~청주	하행	3607-0	189.6	20,090.0	14,918.4	58.9	3,752.4
36호선	조치원~강내	상행	3607-1	176.1	13,279.0	13,266.8	74.1	225.2
36호선	조치원~강내	하행	3607-1	175.1	13,254.0	13,213.2	67.2	1,439.0
36호선	내수~초정	상행	3608-0	22.4	7,292.0	4,080.8	41.1	3,161.2
36호선	내수~초정	하행	3608-0	100.4	8,205.0	8,528.6	72.1	1,288.3
36호선	북일~증평	상행	3609-0	92.1	10,596.0	9,259.9	67.1	3,080.7
36호선	북일~증평	하행	3609-0	10.6	10,495.0	4,469.7	73.9	3,689.3

■ 구간별 AADT 추정 결과(KL-ED<sub>B</sub>모형, 고속도로)

노선	구간명	상/하행	지점번호	AADP (건/일)	AADT (대/일)	추정교통량 (대/일)	기울기	절편
대전남부순환선	서대전JCT~서대전IC	상행	30001	233.5	15,779.0	16,790.2	62.7	2,142.5
대전남부순환선	서대전JCT~서대전IC	하행	30001	238.9	16,253.0	16,868.7	65.9	1,113.0
대전남부순환선	서대전IC~안영IC	상행	30002	219.6	15,714.0	15,538.2	60.5	2,255.6
대전남부순환선	서대전IC~안영IC	하행	30002	216.2	15,702.0	15,698.6	66.0	1,433.9
대전남부순환선	안영IC~산내JCT	상행	30003	203.3	15,211.0	14,931.2	60.1	2,704.2
대전남부순환선	안영IC~산내JCT	하행	30003	219.8	15,488.0	15,588.6	67.7	712.9
경부선	대전IC~회덕JCT	상행	00125	604.7	42,846.0	41,986.7	55.6	8,358.2
경부선	대전IC~회덕JCT	하행	00125	604.6	41,633.0	41,788.2	67.0	1,308.0
경부선	회덕JCT~신탄진IC	상행	00126	700.7	47,325.0	49,704.8	70.9	0.0
경부선	회덕JCT~신탄진IC	하행	00126	708.1	48,667.0	48,668.7	68.7	0.2
경부선	신탄진IC~남청주IC	상행	00127	789.5	53,319.0	55,998.3	70.9	0.0
경부선	신탄진IC~남청주IC	하행	00127	792.4	55,253.0	54,600.9	65.5	2,707.9
경부선	남청주IC~청주JCT	상행	00128	771.6	40,519.0	52,126.9	66.6	727.7
경부선	남청주IC~청주JCT	하행	00128	775.4	55,312.0	53,760.1	68.2	904.0
경부선	청주JCT~남이JCT	상행	00128-1	920.6	65,302.0	64,293.3	69.8	0.0
경부선	청주JCT~남이JCT	하행	00128-1	958.4	65,473.0	65,384.7	65.3	2,775.1
경부선	남이JCT~청주IC	상행	00129	511.8	35,696.0	36,301.2	70.9	0.0
경부선	남이JCT~청주IC	하행	00129	542.4	37,334.0	37,274.5	68.7	0.1
경부선	청주IC~목천IC	상행	00130	562.5	40,932.0	40,944.7	71.3	849.8
경부선	청주IC~목천IC	하행	00130	602.7	43,177.0	41,670.0	66.3	1,684.7
경부선	목천IC~천안JCT	상행	00131	586.4	39,625.0	42,037.0	71.7	0.0
경부선	목천IC~천안JCT	하행	00131	635.4	43,069.0	43,156.8	67.9	0.0
경부선	천안JCT~천안IC	상행	00131-1	1,007.0	72,578.0	72,567.7	72.1	0.6
경부선	천안JCT~천안IC	하행	00131-1	1,068.5	73,701.0	72,996.5	68.3	0.0
경부선	안성IC~안성JCT	상행	00132-1	1,259.6	81,960.0	86,568.4	68.7	0.0
경부선	안성IC~안성JCT	하행	00132-1	1,363.4	83,179.0	94,202.4	69.1	0.0
논산천안선	탄천IC~남공주IC	상행	02528	270.7	17,957.0	17,929.0	66.2	0.0
논산천안선	탄천IC~남공주IC	하행	02528	276.2	18,138.0	18,090.4	65.5	0.0
논산천안선	남공주IC~공주JCT	상행	02529	286.0	18,754.0	19,161.5	67.0	0.9
논산천안선	남공주IC~공주JCT	하행	02529	290.1	18,876.0	18,859.0	65.0	0.1
논산천안선	공주JCT~북공주JCT	상행	02529-1	311.2	20,923.0	20,913.6	67.2	0.0
논산천안선	공주JCT~북공주JCT	하행	02529-1	310.3	16,226.0	20,481.9	66.0	0.0
논산천안선	북공주JCT~정안IC	상행	02529-2	363.2	24,465.0	24,419.8	67.2	0.0
논산천안선	북공주JCT~정안IC	하행	02529-2	362.0	23,310.0	23,895.1	66.0	0.0
논산천안선	정안IC~남풍세IC	상행	02530	406.5	27,464.0	27,508.2	67.7	0.1
논산천안선	정안IC~남풍세IC	하행	02530	413.9	28,090.0	28,114.1	67.9	0.0
논산천안선	남풍세IC~남천안IC	상행	02530-1	412.5	27,796.0	27,781.6	67.4	0.0
논산천안선	남풍세IC~남천안IC	하행	02530-1	421.1	28,531.0	28,600.0	67.9	0.0
논산천안선	남천안IC~천안JCT	상행	02531	500.1	20,444.0	33,945.1	67.9	0.0
논산천안선	남천안IC~천안JCT	하행	02531	505.7	32,591.0	33,395.2	66.0	0.0
중부선	남이JCT~서청주IC	상행	03522	410.6	28,079.0	29,009.7	70.7	0.0
중부선	남이JCT~서청주IC	하행	03522	414.8	29,875.0	30,005.9	65.2	2,938.2
중부선	서청주IC~오창IC	상행	03523	444.6	32,573.0	31,414.9	70.7	0.1
중부선	서청주IC~오창IC	하행	03523	433.9	31,051.0	31,049.3	67.5	1,757.5
중부선	오창IC~증평IC	상행	03524	415.2	29,872.0	29,791.1	67.5	1,757.0
중부선	오창IC~증평IC	하행	03524	422.8	30,033.0	29,641.0	64.6	2,340.2
중부선	증평IC~진천IC	상행	03525	432.2	29,658.0	30,041.9	58.1	4,917.7
중부선	증평IC~진천IC	하행	03525	424.1	28,423.0	29,812.0	69.1	519.7
중부선	진천IC~대소JCT	상행	03526	409.1	28,701.0	28,926.3	69.2	626.2
중부선	진천IC~대소JCT	하행	03526	402.5	28,320.0	28,368.2	70.3	79.0

■ 구간별 AADT 추정 결과(KL-ED<sub>B</sub>모형, 일반국도)

노선	구간명	상/하행	지점번호	AADP (건/일)	AADT (대/일)	추정교통량 (대/일)	기울기	절편
1호선	금남~조치원	상행	0127-2	123.5	15,685.0	9,942.7	36.0	5,492.6
1호선	금남~조치원	하행	0127-2	128.7	15,699.0	10,027.4	35.0	5,522.5
1호선	조치원~전의	상행	0127-3	133.2	6,967.0	10,819.4	65.4	2,109.7
1호선	조치원~전의	하행	0127-3	130.5	6,928.0	9,717.5	74.5	0.0
1호선	남~조치원	상행	0127-5	222.5	13,150.0	13,175.9	49.0	2,276.6
1호선	남~조치원	하행	0127-5	215.6	12,836.0	13,168.0	56.1	1,079.6
1호선	대전~청주	상행	0127-6	232.2	13,649.0	13,649.0	49.0	2,280.0
1호선	대전~청주	하행	0127-6	220.0	13,418.0	13,418.0	56.1	1,079.6
1호선	전동~쌍전	상행	0127-8	175.9	14,301.0	10,398.4	59.1	0.0
1호선	전동~쌍전	하행	0127-8	174.4	13,975.0	10,857.4	62.3	0.0
1호선	조치원~천안	상행	0128-2	118.7	5,931.0	9,675.0	70.9	1,254.7
1호선	조치원~천안	하행	0128-2	115.6	5,424.0	7,849.1	67.9	0.0
1호선	전의~천안	상행	0129-1	216.1	16,242.0	16,140.9	64.4	2,217.0
1호선	전의~천안	하행	0129-1	209.3	15,985.0	15,976.7	69.9	1,354.3
1호선	아산~병천	상행	0130-0	114.3	14,488.0	9,814.6	69.2	1,907.9
1호선	아산~병천	하행	0130-0	190.4	14,770.0	14,801.2	72.1	1,063.8
17호선	청주~현도	상행	1720-0	207.7	16,427.0	14,041.3	67.5	19.7
17호선	청주~현도	하행	1720-0	208.0	16,301.0	14,791.0	66.3	996.9
17호선	청주~진천	상행	1721-0	207.6	17,123.0	16,680.4	80.3	0.9
17호선	청주~진천	하행	1721-0	202.3	16,543.0	16,425.4	81.2	0.1
17호선	청주~진천	상행	1722-2	200.0	15,386.0	14,134.9	66.2	886.6
17호선	청주~진천	하행	1722-2	197.7	13,734.0	15,838.7	75.2	980.0
21호선	배방~천안	상행	2107-0	352.8	22,187.0	22,231.4	58.0	1,759.3
21호선	배방~천안	하행	2107-0	319.2	32,155.0	21,911.4	64.3	1,378.0
21호선	천안~동	상행	2109-0	151.9	10,964.0	13,198.1	81.7	776.8
21호선	천안~동	하행	2109-0	162.7	10,508.0	13,967.1	85.8	0.3
21호선	천안~동	상행	2109-3	190.4	16,345.0	16,558.5	84.7	435.3
21호선	천안~동	하행	2109-3	186.0	16,182.0	15,971.9	83.9	367.9
21호선	병천~진천	상행	2109-4	46.2	4,247.0	4,349.4	88.6	252.0
21호선	병천~진천	하행	2109-4	46.4	4,361.0	4,361.2	72.3	1,007.0
21호선	천안~병천	상행	2109-5	192.9	18,724.0	16,783.0	87.0	0.0
21호선	천안~병천	하행	2109-5	196.8	18,859.0	16,887.3	85.8	0.1
23호선	행정~공주	상행	2324-3	72.3	7,195.0	6,877.5	65.1	2,168.2
23호선	행정~공주	하행	2324-3	68.4	6,886.0	6,625.2	66.4	2,084.1
23호선	행정~공주	상행	2325-1	77.3	7,214.0	7,360.8	63.0	2,489.2
23호선	행정~공주	하행	2325-1	77.2	6,750.0	6,769.1	66.4	1,643.0
25호선	남일~가덕	상행	2518-2	51.9	7,365.0	7,074.5	115.6	1,074.2
25호선	남일~가덕	하행	2518-2	51.6	7,035.0	7,015.5	115.1	1,078.8
25호선	두산~남일	상행	2518-3	91.3	11,589.0	11,609.1	127.1	0.0
25호선	두산~남일	하행	2518-3	92.9	11,807.0	11,669.3	125.6	0.4
36호선	화산~증평	상행	3409-0	52.4	7,361.0	7,345.9	58.7	4,270.6
36호선	화산~증평	하행	3409-0	52.6	7,876.0	7,616.7	56.0	4,670.0
36호선	조치원~청주	상행	3607-0	200.4	19,704.0	14,911.6	67.2	1,439.9
36호선	조치원~청주	하행	3607-0	189.6	20,090.0	14,349.8	75.7	0.3
36호선	조치원~강내	상행	3607-1	176.1	13,279.0	13,319.2	66.7	1,575.8
36호선	조치원~강내	하행	3607-1	175.1	13,254.0	13,254.0	70.5	907.3
36호선	내수~초정	상행	3608-0	22.4	7,292.0	5,394.2	59.4	4,066.0
36호선	내수~초정	하행	3608-0	100.4	8,205.0	9,738.2	73.6	2,350.1
36호선	북일~증평	상행	3609-0	92.1	10,596.0	9,004.9	76.6	1,948.4
36호선	북일~증평	하행	3609-0	10.6	10,495.0	5,015.8	56.7	4,416.9

## Abstract

# AADT Estimation of Unobserved Road Segments Using GPS Vehicle Trip Data

Jung, In-Taek

Transportation Studies

Department of Environmental Planning

The Graduate School of Environmental Studies

Seoul National University

With continuous development of Information Technology, traffic data collection systems have been evolving from a loop detector and video image detector at the fixed location through a traffic data collector with fixed sensor survey to Global Positioning System (GPS) trails of individual persons or vehicles, using smart phones or car navigation systems. That is, the era of mega data has come with the increased quantity and quality of available data in the expanded scope of time and space. As a car navigation system has become an essential tool, installed almost every vehicle on the road, the technology to collect and store data with the equipment has also been secured enough. Considering the use of big data, one of ten initiatives of the Government 3.0, it is time to take active approaches to make the best use of GPS traffic data collected from car navigation systems.

Given that GPS traffic data is a sample of entire traffic data in each section of the road, this data can be used as an input for research to make up for unobserved annual average daily traffic (AADT) in a

specific road segment. A review of precedent studies suggested that the existing input data for AADT estimation model was dependent on social and economic indicators at the macro level (e.g., the number of population, workers and vehicles registered). Although micro-level data has been sometimes used in some cases, most of them come from link information (e.g., the number of lanes, extension and speed limit) used in GIS or estimated data from travel demand forecasting model in commercial software packages like TransCAD. Under this current limitation, existing AADT estimation models have relied on parametric approaches which use the specific parameters in statistical models. Accordingly, previous models could face systematic problems in building input data and optimizing parameters when they are loaded onto the system.

To eliminate these uncertainties in estimating unobserved AADT, a nonparametric AADT estimation model was proposed in this research by using the KL model. The KL model is based on the combination of  $k$ -Nearest Neighbors (KNN) method and Locally Weighted Linear Regression (LWLR) model. Consequently, six different models were developed according to the type of formula structures and applied weights in this research. Compared to other previous models, Annual Average Daily Probe (AADP) collected from GPS in each road segment was used as a predictor variable. Also, three types of KNN approaches were applied to make weighting values. To reduce the uncertainty in AADT estimation, this research did not estimate one global model or use calculated weights from a specific statistical model, but construct the pool of final decision by the KNN approach based on spatial patterns of the given road segment. For the future purpose of developed model onto the system, other factors such as the generality of the model, easiness of changing structure of

input/output data, automatic calculation of parameters and speed of calculation were also considered.

In the end, the accuracy and reliability of KL model were assessed in the case study with intraregional roads(e.g., expressway, general national road). This case study proved that the developed model has superior performance rather than existing models in general.

**keywords : Big data, Unobserved road segments, Annual average daily traffic, Annual average daily probe, Nonparametric model,  $k$ -nearest neighbors, Locally weighted linear regression**

***Student Number : 2011-30732***